

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	2_Bontemps, Charles
Auteur(s)	Bontemps, Charles (1839-1884)
Titre	Les systèmes télégraphiques : aériens, électriques, pneumatiques
Nombre de volumes	2
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8CA78
Adresse	Paris : Dunod, éditeur, libraire des corps nationaux des ponts et chaussées, des mines et des télégraphes, 1876
Collation	2 vol. (VI-347 p., XII f. de pl.) : ill. en noir et en coul. ; 23 cm
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 78
Sujet(s)	Transport pneumatique Télégraphe

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Bontemps, Charles (1839-1884)
Titre	Les systèmes télégraphiques : aériens, électriques, pneumatiques
Volume	Texte
Adresse	Paris : Dunod, 1876
Collation	1 vol. (VI-347 p.) : ill. en noir et en coul. ; 23 cm
Nombre d'images	353
Cote	CNAM-BIB 8 Ca 78 (1)
Sujet(s)	Transport pneumatique Télégraphe
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?8CA78.1

LES
SYSTÈMES TÉLÉGRAPHIQUES



PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE ET C^e
26, RUE RACINE, 26

LES SYSTÈMES
8^e Ca 78
TÉLÉGRAPHIQUES

AÉRIENS — ÉLECTRIQUES

PNEUMATIQUES

PAR

M. CH. BONTEMPS

N^o-INSPECTEUR DES LIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

—
TEXTE



—
PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSEES, DES MINES
ET DES TÉLÉGRAPHES

49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

—
1876

Droits de traduction et de reproduction réservés

PRÉFACE

En publiant cet ouvrage, notre but est de vulgariser des connaissances et des procédés qui doivent être familiers, non-seulement aux Télégraphistes, mais à tous les Ingénieurs. L'art de la transmission de la pensée à distance, ébauché par l'invention des frères Chappe, a trouvé dans l'électricité les ressources les plus variées; chaque année des progrès notables viennent étendre nos conquêtes.

Le dernier venu, le Télégraphe, ou, pour mieux dire, la Poste pneumatique, cherche ses procédés dans une autre direction.

Nous avons pensé qu'il pourrait être de quelque utilité de réunir dans un même volume les éléments d'un art qui revêt déjà autant de formes diverses. Les recueils spéciaux qui enregistrent au jour le jour les travaux originaux sont lus seulement par quelques initiés; nous essayerons de reproduire ici un corps de doctrine pré-

sentant aussi exactement que possible la pratique courante.

Nous nous aiderons des nombreux traités qui existent sur la matière; désireux d'embrasser un vaste champ dans un cadre limité, nous nous contenterons de généralités et de vues d'ensemble formant le premier enseignement, heureux si nous avons pu donner au lecteur le goût d'aller chercher chez nos maîtres la perfection des théories!

Paris, le 10 Avril 1876.

LES SYSTÈMES TÉLÉGRAPHIQUES

PREMIÈRE PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE AÉRIEN.

CHAPITRE PREMIER.

HISTORIQUE.

L'invention du télégraphe est une découverte moderne et toute française. C'est, en effet, par le télégraphe aérien de Claude Chappe que commence cette série d'appareils étonnants qui sont répandus dans le monde entier.

Les débuts de la télégraphie dans la période révolutionnaire ont été retracés avec un grand art et une grande fidélité dans les *Annales télégraphiques* par M. E. Gerspach (*). Nous ne pouvons mieux faire que de reproduire, en les résumant, les pages curieuses qu'il a consacrées aux luttes des promoteurs de cette entreprise.

Sans nous arrêter aux tentatives anciennes qui ne présentent aucun caractère d'application, nous citerons un passage des *Éloges* de Fontenelle, sur un projet d'Amontons, membre de l'Académie des sciences, qui reçut un commencement d'exécution dans le jardin du Luxembourg, en 1690.

(*) *Annales télégraphiques* (1860 et 1861).

« Peut-être ne prendra-t-on, dit Fontenelle, que pour un jeu d'esprit, mais du moins très-ingénieux, un moyen qu'Amontons inventa de faire savoir tout ce qu'on voudrait à une très-grande distance, par exemple de Paris à Rome, en très-peu de temps, comme en trois ou quatre heures, et même sans que la nouvelle fût sue dans tout l'espace d'entre eux. Cette proposition, si paradoxale et si chimérique en apparence, fut exécutée dans une petite étendue de pays, une fois en présence de Monseigneur et une autre fois en présence de Madame. Le secret consistait à disposer, dans plusieurs postes consécutifs, des gens qui, par des lunettes de longue-vue, ayant aperçu certains signaux du poste précédent, les transmettaient au suivant, et toujours ainsi de suite, et ces différents signaux étaient autant de lettres d'un alphabet dont on n'avait le chiffre qu'à Paris et à Rome. La plus grande portée des lunettes faisait la distance des postes, dont le nombre devait être le moindre qu'il fût possible, et comme le second poste faisait des signaux au troisième, à mesure qu'il les voyait faire au premier, la nouvelle se trouvait portée à Rome en presque aussi peu de temps qu'il en fallait pour faire les signaux à Paris. »

Cette définition, écrite un siècle plus tard, n'aurait-elle pas pu s'appliquer au télégraphe Chappe?

Nous ne retiendrons pas les noms de plusieurs projets qui suivirent sans jamais aboutir à la pratique; nous arrivons à Chappe, en 1790; seul il a vu son œuvre couronnée de succès, après une série ininterrompue de travaux et de malheurs.

Le 22 mars 1792, Chappe, sur sa demande, fut admis à la barre de l'Assemblée législative pour présenter son projet renfermé dans la pétition suivante :

« Monsieur le Président,

« Je viens offrir à l'Assemblée nationale l'hommage d'une découverte que je crois utile à la chose publique.

« Cette découverte présente un moyen facile de communiquer rapidement, à de grandes distances, tout ce qui peut être l'objet d'une correspondance.

« Le récit d'un fait ou d'un événement quelconque peut être transmis, la nuit ainsi que le jour, à plus de 40 milles, dans moins de 46 minutes. Cette transmission s'opérerait d'une manière presque aussi rapide, à une distance beaucoup plus grande (le temps em-

ployé pour la communication n'augmentant point en raison proportionnelle des espaces).

« Je puis, en 20 minutes, transmettre, à la distance de 8 ou 10 milles, la série de phrases que voici, ou toute autre équivalente :

« Luckner s'est porté vers Mons pour faire le siège de cette place. Bender s'est avancé pour la défendre. Les deux généraux sont en présence. On livrera demain bataille.

« Ces mêmes phrases seraient communiquées, en 24 minutes, à une distance double de la première; en 33 minutes elles parviendraient à 50 milles. La transmission à une distance de 100 milles ne nécessiterait que 12 minutes de plus.

« Parmi la multitude d'applications utiles dont cette découverte est susceptible, il en est une qui, dans les circonstances présentes, est de la plus haute importance.

« Elle offre un moyen certain d'établir une correspondance telle que le Corps législatif puisse faire parvenir ses ordres à nos frontières et en recevoir la réponse pendant la durée d'une même séance.

« Ce n'est point sur une simple théorie que je fais ces assertions. Plusieurs expériences, tentées à la distance de 10 milles, dans le département de la Sarthe, et suivies de succès, sont pour moi de sûrs garants de la réussite.

« Les procès-verbaux ci-joints, dressés par deux municipalités, en présence d'une foule de témoins, en attestent l'authenticité.

« L'obstacle qui me sera le plus difficile à vaincre sera l'esprit de prévention avec lequel on accueille ordinairement les faiseurs de projets. Je n'aurais jamais pu m'élever au-dessus de la crainte de leur être assimilé si je n'avais été soutenu par la persuasion où je suis que tout citoyen français doit, en ce moment plus que jamais, à son pays le tribut de ce qu'il croit lui être utile.

« Je demande, messieurs, que l'Assemblée nationale renvoie à l'un de ses comités l'examen des projets que j'ai l'honneur de vous annoncer, afin qu'il nomme des commissaires pour en constater les effets, par une expérience qui sera d'autant plus facile à faire, qu'en l'exécutant sur une distance de 8 ou 10 milles, on sera à portée de se convaincre qu'elle peut s'appliquer à tous les espaces.

« Je la ferai, au surplus, à toutes les distances que l'on voudra m'indiquer; et je ne demande, en cas de réussite, qu'à être indemnisé des frais qu'elle aura occasionnés. »

L'Assemblée nationale accepta l'hommage de la machine, ordonna que l'examen en serait renvoyé au comité de l'instruction publique, et admit l'inventeur aux honneurs de la séance.

Chappe, voulant rendre concluante l'expérience qui devait être faite en présence des commissaires de l'Assemblée nationale, avait commencé la construction d'une ligne de plusieurs postes. La première station était dans le parc de Lepelletier Saint-Fargeau; il pensait que là, dans une propriété particulière, chez un représentant du peuple, il serait en sûreté; mais il avait compté sans la fureur aveugle de la populace, et ces constructions étaient à peine achevées, qu'elles subirent le sort de celles qu'il avait antérieurement essayées à la barrière de l'Étoile. Le peuple les brisa, y mit le feu et détruisit tout, jusqu'au dernier vestige.

La vie de Chappe et celle de ses amis furent en danger; tout travail dut être momentanément interrompu. Le peuple prétendait que cette invention était destinée à servir les ennemis du pays et particulièrement à correspondre avec le roi Louis XVI, enfermé au Temple. Chappe, ne pouvant plus se présenter à Belleville, songea à se mettre, lui et ses machines, sous la sauvegarde du pouvoir, et le 12 septembre, il s'adressa de nouveau à l'Assemblée nationale.

Jusque-là Chappe avait fait de ses propres deniers tous les frais de l'entreprise; la somme totale qui y fut consacrée par lui et sa famille ne s'élève pas à moins de 40 000 francs. Il se trouvait donc atteint et dans sa fortune, et dans ses projets, et dans sa sécurité. Sa demande devait cependant rester bien longtemps sans réponse. L'Assemblée législative avait, le 21 septembre, cédé la place à la Convention nationale. Le gouvernement, tout entier aux graves préoccupations de l'époque, pouvait négliger les affaires qui paraissaient alors d'une importance secondaire. L'inventeur et ses frères, Ignace, Pierre, René et Abraham, qu'il avait associés à ses études, attendirent avec patience une époque plus favorable; ce n'était pas, en effet, après avoir résisté déjà à tant d'épreuves, qu'ils devaient songer à abandonner leurs projets. Ignace eut soin d'entretenir ses anciennes relations: il visitait les fonctionnaires, leur rappelait le *tachygraphie*, car c'est ainsi qu'on avait appelé l'invention, et en démontrait la nécessité dans les circonstances présentes. Dans une de ses visites au ministère de la guerre, à la tête duquel se trouvait alors le colonel Bouchotte, il eut l'occasion de s'entretenir un jour avec le chef de division Miot. Miot était un homme lettré, qui plus tard fut ministre,

ambassadeur, membre de l'Institut, et qui occupa de hautes fonctions politiques sous l'Empire, à la cour du roi Joseph. La conversation roula, comme de juste, sur la *tachygraphie*. Miot, tout en applaudissant à l'idée, n'approuva pas cette dénomination de *tachygraphe*, et proposa d'y substituer celle de *télégraphe*. L'expression fut adoptée, lit fortune et avec raison : le mot *tachygraphe* veut dire *qui écrit vite*, il n'implique aucune idée de distance; le mot *télégraphe*, *qui écrit de loin*, est plus complet, l'idée de distance y est renfermée, et celle de vitesse est suffisamment indiquée dans les mots *qui écrit*. Le mot *tachygraphie* existait déjà dans la langue, et l'invention de Chappe méritait bien un nom à elle. L'expression *télégraphie* ne spécifiait aucun système, elle indiquait le but; elle est restée, elle est devenue générique. Ce fut au mois d'avril 1793 que cette heureuse dénomination fut proposée par Miot, qui n'a jamais eu, du reste, d'autres rapports avec la télégraphie (*).

Les affaires cependant n'avançaient pas; plus d'une année s'était écoulée depuis que Chappe avait lu sa pétition à l'Assemblée législative. Le projet, renvoyé à l'examen du comité de l'instruction publique, semblait avoir été oublié dans les cartons, lorsqu'un des membres du comité, le citoyen Romme, l'exhuma et se prit d'enthousiasme pour les idées qu'il renfermait.

La Convention, sur la proposition de Romme, décréta que le conseil exécutif provisoire serait autorisé à faire un essai du procédé pour correspondre rapidement à de grandes distances, présenté par le citoyen Chappe, en prenant une ligne de communication assez longue pour obtenir des résultats concluants. Elle ordonna au comité de l'instruction publique de nommer une commission pour suivre les expériences, et décida que, pour les frais de cet essai, il serait pris une somme de 6000 francs sur les fonds libres de la guerre. Les commissaires furent nommés le 6 avril : ce furent les représentants Lakanal, Daunou et Arbogast. Chappe ne réussit pas à convaincre ces deux derniers, mais il trouva en Lakanal un puissant protecteur. Après bien des luttes, celui-ci parvint à faire décider l'exécution d'une ligne de 35 kilomètres, entre Ménilmontant et Saint-Martin-du-Tertre, avec poste intermédiaire à Écouen. L'expérience fut faite le 12 juillet 1793, en présence des membres de la

(*) Mémoires de Miot de Mérito cités par M. E. Gerspach.

commission et d'un grand nombre de savants, d'artistes et d'hommes politiques.

Sur le rapport de Lakanal, Chappe reçut par décret le titre d'ingénieur-télégraphe et fut chargé de procéder sans retard à l'exécution des lignes de Paris à Lille et de Paris à Strasbourg, demandée par le Comité de salut public sous l'inspiration de Carnot. Cette direction sur les frontières du Nord et de l'Est était commandée par l'intérêt militaire.

Au mois d'août 1793, l'armée française, refoulée au Nord par les armées autrichiennes, était en pleine retraite. Les places de Condé et de Valenciennes venaient de tomber entre les mains de l'ennemi. Le prince de Cobourg s'avancait à la tête de 180 000 hommes ; déjà il n'était plus qu'à quarante lieues de Paris, lorsque l'armée française arrêta son mouvement de retraite et s'établit sur la Scarpe, sa gauche appuyée sur Douai et sa droite sur Arras. Cette attitude déterminée arrêta le prince de Cobourg. A l'Est la situation n'était pas meilleure. Le roi de Prusse et Wurmsér, avec 76 000 hommes, couvraient le pays entre les Vosges et Lauterbourg, et Custine les observait derrière la Lauter. C'est au moment même où la trace de nos frontières était effacée, où nos soldats reculaient écrasés par le nombre, que le Comité de salut public, comme pour se railler des progrès des coalisés, décréta que des télégraphes seraient posés, comme des sentinelles avancées, à l'extrême limite de nos frontières, au delà des lignes ennemies.

Par raison d'économie, on se borna d'abord à la ligne de Lille. Rien n'est plus attachant que le récit des difficultés de tout genre que surmontèrent les premiers constructeurs du télégraphe. Le travail se divisa naturellement en deux parties : la construction des machines et la construction de la ligne. Claude Chappe s'occupa spécialement de la partie mécanique, les autres agents furent chargés de la ligne. Tout dans un pareil établissement était nouveau pour eux, ils n'avaient à suivre aucuns précédents : aussi le tracé de la ligne, le choix des positions furent de véritables études à entreprendre. Guidés par des principes généraux d'optique et quelques observations météorologiques, ils se mirent courageusement à l'œuvre. Ils eurent tout à faire par eux-mêmes : car à cette époque de terreur, l'industrie ne fabriquait que des armes, le commerce était nul. Dès les premiers jours on s'aperçut que les matériaux pour les maçonneries et les charpentes manquaient presque partout ;

les ouvriers aussi faisaient défaut. Le Comité de salut public frappa de réquisition tous les matériaux et les hommes disponibles dans les communes traversées par la ligne; mais dans un pays où il n'y avait plus rien, la réquisition elle-même ne pouvait rien apporter, et sans la remarquable persévérance et le courage des inspecteurs, la ligne n'eût pu de longtemps être terminée.

Les points où les stations durent être élevées furent assez promptement fixés; mais lorsqu'il fallut s'occuper de la construction des baraques, les difficultés les plus sérieuses se présentèrent. Les inspecteurs, ne pouvant d'aucune manière se faire livrer les matériaux nécessaires, étaient forcés d'aller eux-mêmes les chercher, après avoir à grand-peine embauché quelques ouvriers dans les campagnes. Il fallait du bois et des pierres: on cherchait le bois dans les forêts, la pierre dans les carrières; mais alors les moyens de transport manquaient. Les chevaux étaient pris pour les armées et les paysans ne voulaient pas se séparer de leurs bêtes de trait; puis quand, à force de prières et de menaces même, on était parvenu à réunir les matériaux, il fallait commencer les constructions, faire des échafaudages sans charpentiers, des murs sans maçons. La truelle à la main, les inspecteurs se voyaient souvent forcés d'apprendre aux ouvriers la manière de bâtir. Quand l'ouvrage était à moitié fait, l'ouvrier abandonnait quelquefois le chantier, parce qu'il n'était pas régulièrement payé.

Vers la fin de ventôse, an II (mars 1794), les constructions de la ligne furent à peu près achevées; les circonstances dans lesquelles fut échangée la première dépêche officielle transmise par le télégraphe sont devenues historiques.

Le 15 fructidor, an II (1^{er} septembre 1794), de la tour Sainte-Catherine à Lille au dôme du Louvre à Paris, se déployèrent les machines télégraphiques, et de station en station vola, comme sur les ailes des vents, une glorieuse nouvelle.

Quel ne fut pas l'enthousiasme de la Convention, quand Carnot, au nom du Comité de salut public, monta à la tribune et que, d'une voix vibrante et émue: Citoyens, dit-il, voici le rapport du télégraphe qui nous arrive à l'instant:

« Condé est restitué à la République, la reddition a eu lieu ce matin à six heures. »

Ces paroles furent couvertes par un tonnerre d'applaudissements. D'un mouvement spontané, les députés se levèrent, et avec les tri-

bunes éclatèrent en bravos patriotiques. Un enthousiasme fébrile parcourut la salle, les dissentiments politiques furent oubliés, et une immense et unanime acclamation en l'honneur de la patrie et de l'invention nouvelle retentit dans l'enceinte.

Lorsque le calme se fut rétabli, plusieurs députés prirent la parole.

« *Gossain*. Condé est rendu à la République ; changeons le nom qu'il portait en celui de *Nord-libre*.

« *Cambon*. Je demande que ce décret soit envoyé à Nord-libre par la voie du télégraphe.

« *Granet*. Je demande qu'en même temps que vous apprenez à Condé par la voie du télégraphe son changement de nom, vous appreniez aussi à la brave armée du Nord, qu'elle continue de bien mériter de la patrie. »

Toutes ces propositions furent adoptées.

Vers la fin de la séance, le président annonça à l'Assemblée que le télégraphe avait porté à l'armée du Nord, les deux décrets rendus.

« Voici, dit-il, la lettre de l'ingénieur-télégraphe :

« Je t'annonce, citoyen président, que les décrets de la Convention nationale, qui annoncent le changement du nom de *Condé* en celui de *Nord-libre* et celui qui déclare que l'armée du Nord ne cesse de bien mériter de la patrie sont transmis ; j'en ai reçu le signal par le télégraphe. J'ai chargé mon préposé à Lille de faire passer ces décrets à Nord-libre par un courrier extraordinaire. »

La lecture de ce rapport mit l'enthousiasme à son comble, de frénétiques applaudissements l'accueillirent et terminèrent cette séance mémorable pour la télégraphie.

Le fac-simile reproduit d'autre part est la minute de la dépêche par laquelle le président de la Convention notifiait au Comité de salut public la décision de l'Assemblée.

Ce noble début eut en France un immense retentissement. Le succès fut national comme l'invention. A l'étranger, au contraire, en Allemagne surtout, il excita une envie jalouse mal dissimulée dans des pamphlets dont le but était de décrier la machine de Chappe et d'en démontrer l'absurdité. Une brochure publiée dans ce sens, à Leipsick, à six mille exemplaires, fut enlevée rapidement ; elle ne contenait qu'un tissu de mensonges.

A la tête de ce mouvement se trouvait Bergstrasser, l'auteur de la synsématographie, qui écrivait au roi de Prusse : « Au surplus, je crois que les Français n'emploient pas leur télégraphe à autre chose

qu'à un but politique ; on s'en sert pour amuser les Parisiens, qui, les yeux fixés sur la machine, disent : « Il va, il ne va pas. » On profite de la même occasion pour attirer l'attention de l'Europe, et en venir insensiblement à ses fins. »

A partir de la célèbre journée du 13 fructidor, la ligne de Paris à Lille ne cessa plus de marcher, et le service s'y fit aussi régulièrement que le permirent les circonstances politiques et les accidents météorologiques.

Après la ligne de Lille, Chappe exécuta la ligne de Landau, tracée par Châlons, Metz, Strasbourg ; les circonstances n'étaient pas plus favorables au point de vue financier. Les employés et les constructions souffrirent souvent du manque d'argent.

Avec le Directoire, une vive impulsion fut donnée aux travaux ; on reconnaissait dans les décisions la présence de Carnot, toujours attentif à la marche de l'administration qu'il avait fondée. Mais la pénurie du Trésor paralysa bientôt ces bonnes dispositions, et en l'an V, on dut congédier presque tout le personnel, faute de ressources. C'en était fait des lignes télégraphiques, elles allaient disparaître pour longtemps peut-être, quand un événement fortuit vint arrêter la ruine qui les menaçait.

Le congrès de Rastadt s'était réuni. Le Directoire, voulant suivre de près les délibérations, ordonna, en brumaire an VI, la construction immédiate et d'urgence de la ligne de Paris à Strasbourg et, ce qui valut mieux, fit délivrer des fonds en numéraire.

Les employés licenciés furent rappelés, le service réorganisé, les travaux repris. La ligne fut élevée comme par enchantement ; en cinq mois elle fut achevée.

Puis ce fut le tour des lignes de Lille à Ostende par Dunkerque, de Paris à Brest avec embranchement sur Saint-Malo, entreprises pour le compte du ministère de la marine. Nous avons reproduit sur la planche I le tracé d'une portion de la ligne de Paris à Brest, située dans le département de l'Orne. Le lecteur pourra se rendre compte de l'effet pittoresque que produisait dans la campagne la vue de ces grands bras, attributs modernes de la Renommée.

La télégraphie aérienne a toujours été une télégraphie purement politique. Il n'entraît cependant pas dans les idées de son inventeur de l'appliquer uniquement aux besoins du gouvernement. Lorsque Claude Chappe fit hommage à l'État de son télégraphe, il pensait que l'État pourvoirait au moins aux frais de l'exploitation ; les événe-

ments le détrompèrent. Les fonds venant à manquer, l'œuvre fut menacée, elle fut même sur le point de disparaître. Chappe alors, après avoir épuisé tous les moyens, songea à faire vivre la télégraphie d'elle-même, il eut l'idée d'une télégraphie privée. Le ministre, averti, demanda un mémoire. Le mémoire fut présenté en nivôse an VII; Chappe pensait que les commerçants des villes de l'intérieur de la France, en communication avec les grands ports de mer, pourraient tirer de très-grands profits de la connaissance presque immédiate des arrivages, que ce serait un avantage pour les banquiers de connaître rapidement le cours des changes des places étrangères, et que certainement les recettes effectuées par les dépêches particulières couvriraient les frais de toute l'administration.

La première condition pour la mise en pratique d'une télégraphie privée productive, est l'extension d'un réseau aux grands centres industriels et commerçants. La télégraphie aérienne était-elle susceptible d'un pareil développement, et dans ce cas, le service de l'État, dans bien des circonstances, n'eût-il pas empêché totalement la correspondance privée? Les revenus eussent-ils couvert les frais? Les gouvernements ne l'ont pas pensé, puisqu'à aucune époque il ne fut donné suite au projet de Chappe.

Le gouvernement s'occupait du moins d'étendre le réseau politique. Il ordonna une ligne dirigée sur le Midi par Dijon et Lyon, et, au mois de messidor, la ligne de Strasbourg fut prolongée jusqu'à Huningue, par quatorze stations. Les postes durent être très-rapprochés, ils étaient situés dans la vallée du Rhin, fréquemment chargée de brouillards.

Les cinq années du Directoire sont les plus pénibles qu'ait eu à traverser la télégraphie.

Après le 18 brumaire, trois lignes étaient en fonction : celle du Nord, celle de l'Est et celle de la Bretagne ; la ligne du Midi par Lyon était en construction, et un embranchement de l'Est sur Lunéville était projeté.

La situation financière de l'administration était déplorable : il y avait sur les dépenses des lignes construites ou en construction un arriéré de 230 000 francs ; les appointements du personnel étaient en retard de plusieurs mois, la dette atteignit le chiffre de 260 000 fr.

Le 3 nivôse an IX, un arrêté reconnut cette dette et en autorisa l'extinction par annuités de 50 000 francs ; le même arrêté réduisit le

crédit annuel des trois quarts, en le fixant pour le service de toutes les lignes à 450 000 francs.

Pour améliorer une situation aussi critique, l'administrateur en chef proposa au ministre des sources de recette en appliquant le télégraphe : 1^o aux affaires d'industrie, de commerce et de banque ; 2^o à l'exploitation d'un journal ; 3^o aux opérations de la loterie nationale.

C'était le germe de la télégraphie privée, Chappe rêvait un réseau européen ; selon lui, Paris pouvait et devait être mis en communication avec les grands ports de mer d'Europe, notamment avec Amsterdam, Cadix et Londres.

Le journal devait être une feuille officielle imprimée à Paris et expédiée par la poste en province. A son arrivée dans les villes pourvues de télégraphes, on y aurait ajouté un bulletin télégraphique expédié le matin même de Paris, donnant le résumé des nouvelles du jour et approuvé par le premier Consul. Le produit des abonnements d'un pareil journal, toujours en avance pour les nouvelles de deux ou trois jours, à une époque fertile en événements, devait être considérable, selon Chappe, et même suffire à couvrir les frais de service et d'entretien de toutes les lignes télégraphiques.

Pour l'application de la télégraphie à la loterie nationale, voici sur quelles combinaisons on tablait. Il s'était établi en province des bureaux clandestins de loterie qui émettaient des billets dans l'intervalle de temps qui s'écoulait entre la clôture des bureaux officiels et la publication des numéros gagnants. Ces bureaux attiraient ainsi dans leurs caisses des sommes que les joueurs n'eussent pas manqué de verser dans les caisses de l'État pour le tirage suivant ; or, il était clair que, si la publication des numéros sortis pouvait avoir lieu en province le jour même du tirage à Paris, la spéculation fructueuse des offices particuliers se trouverait ainsi empêchée ; le télégraphe pouvait donner ce moyen. D'un autre côté, en transmettant immédiatement le résultat du tirage, le télégraphe pouvait donner plus de latitude pour combiner les mises et exciterait alors, disait Chappe, la cupidité des joueurs, qui prendraient plus de billets. Chappe n'évaluait pas à moins de plusieurs millions le bénéfice annuel que l'administration de la loterie devait tirer du concours de la télégraphie.

De ces trois projets, un seul devait être mis à exécution : ce fut celui de la loterie. Nous ne connaissons pas, dit M. Gerspach, les

chiffres des bénéfices que l'administration de la loterie réalisa grâce à cette combinaison; mais il y a lieu de croire qu'elle fut satisfaite des résultats, car, pendant de longues années elle subventionna la télégraphie, et telle ligne, celle de Strasbourg par exemple, n'eut pendant longtemps d'autres ressources pour les frais de service et d'entretien que les bons de la loterie sur les caisses des départements.

Le développement du réseau télégraphique ne prit pas, sous l'Empire, une extension aussi considérable qu'auraient pu le faire supposer les premiers travaux accomplis. L'empereur Napoléon appréciait pourtant la télégraphie à sa juste valeur; il avait ordonné que les dépêches fussent remises à lui-même, et lorsqu'il quittait Paris, il désignait le grand dignitaire auquel la correspondance télégraphique devait être adressée.

Il paraît même que l'empereur conçut le vaste projet de réunir par des lignes télégraphiques tous les chefs-lieux de l'Empire à la capitale; mais ce projet ne reçut même pas un commencement d'exécution.

Après la mort de Claude Chappe (1805), ses deux frères, Ignace et Pierre Chappe, lui succédèrent comme administrateurs des lignes télégraphiques. Un troisième frère, Abraham Chappe, fut attaché à l'état-major impérial. Il faut signaler, parmi les travaux exécutés à cette époque, le prolongement de la ligne du Nord sur Boulogne, puis sur Anvers et Flessingue, enfin sur Amsterdam. La ligne de Lyon, menée déjà jusqu'à Turin et Milan, fut étendue jusqu'à Venise avec embranchement jusqu'à Mantoue. Après la campagne de Russie, l'empereur ordonna l'exécution du prolongement de la ligne de l'Est jusqu'à Mayence. Ce fut un véritable tour de force d'exécuter en deux mois cette opération sur une étendue de 225 kilomètres. Cette ligne ne devait pas fonctionner longtemps. Bientôt nos armées battirent en retraite; les fonctionnaires de la télégraphie, toujours à l'extrême arrière-garde, le fusil à la main, défendirent leurs postes jusqu'à la dernière extrémité et ne se retirèrent devant l'ennemi qui s'avancait qu'après avoir mis le feu aux machines télégraphiques. Plusieurs d'entre eux payèrent de leur vie ou de la liberté cet héroïque accomplissement du devoir.

Sous la Restauration, on supprima l'embranchement de Boulogne pour établir une nouvelle ligne sur Calais par Saint-Omer. Le port de Calais avait acquis une grande importance comme passage de

dépêches et de voyageurs depuis la reprise de nos relations avec l'Angleterre; il était nécessaire de le mettre en communication rapide avec Paris.

On songea, vers la même époque, à appliquer la télégraphie d'une manière efficace au maintien de la paix intérieure du royaume. Un rapport fut soumis au roi pour la division de la garde royale, seule force regardée comme sûre, en cinq cantonnements situés dans un rayon de 15 à 20 lieues de Paris. Au centre de chaque cantonnement devait aboutir une ligne télégraphique partant de Paris; en cas d'insurrection la garde devait, au premier signal, partir en poste pour se porter vers le lieu menacé. Ce projet ne fut pas exécuté.

On fit en 1822 la ligne de Paris à Bayonne par Poitiers, Angoulême et Bordeaux.

Nous ne trouvons ensuite aucun incident notable à signaler jusqu'en 1830, époque de la retraite des derniers frères de Claude Chappe. A ce moment plusieurs entreprises de télégraphie privée prirent naissance. Les cours de la Bourse étaient clandestinement transmis sur plusieurs lignes, de véritables exploitations de dépêches privées s'exerçaient à l'insu de l'administration. Le gouvernement s'émut de cet état de choses et résolut de le faire cesser.

Aucune loi ne donnait à l'État le monopole de la transmission des signaux; mais, en fait, le monopole était acquis depuis l'établissement du premier télégraphe. La Convention, en donnant à Claude Chappe le titre officiel d'ingénieur-télégraphe et en considérant les agents des télégraphes comme employés de l'État, avait en réalité pris possession de la télégraphie. Au surplus, de tout temps, le droit de transmettre et de communiquer les dépêches par la voie la plus prompte avait appartenu au pouvoir; les estafettes, les courriers, les postes avaient toujours été des droits réguliers de la souveraineté; il ne pouvait être dérogé à ce principe pour la télégraphie, moyen de communication plus précieux que les autres; mais, en réalité, aucune loi n'avait consacré ce privilège. Le gouvernement présenta, en 1837, un projet de loi dans ce sens à la Chambre des députés. « Les gouvernements, disait l'exposé des motifs, se sont constamment réservé la disposition exclusive des objets qui, tombés en de mauvaises mains, peuvent menacer la sûreté publique ou privée; les poisons, les poudres ne sont débités que par autorisation de l'État, et certes, la télégraphie entre des mains malveillantes pouvait devenir une arme des plus dangereuses: que serait-il arrivé, en effet, si le succès

momentané de l'insurrection de Lyon, eût été connu aussitôt sur tous les points du territoire? » Il ajoutait que la liberté des entreprises télégraphiques dégénérerait bientôt en privilège entre les mains des entrepreneurs, par suite des frais considérables de l'exploitation et du travail limité des lignes. « Ce travail limité, disait le ministre, exclut toute comparaison avec les postes, qui sont à la disposition de tout le monde: par la poste, toutes les lettres partent et arrivent simultanément, il y a libre concurrence pour tous: en télégraphie, il n'en est pas de même, les dépêches arrivent successivement: l'effet de la première dépêche peut être produit avant l'arrivée de la seconde, il y a donc privilège pour celui qui obtiendra la priorité; le seul moyen d'empêcher le monopole, c'est de l'attribuer au gouvernement. Puis un contrôle serait impossible: on ne pourrait empêcher de donner un sens caché à une phrase, le gouvernement a déjà été trompé; dans les rares occasions où il a consenti à passer des dépêches qu'il croyait d'un intérêt très-urgent pour les familles, il n'a parfois servi que la spéculation. »

Pour tous ces motifs d'ordre public, de morale et de libre concurrence, la Chambre vota la loi qui fut promulguée le 3 mai 1837. Cette loi « punit d'un emprisonnement d'un mois à un an et d'une amende de 1000 francs à 10 000 francs, quiconque transmettra sans autorisation des signaux d'un lieu à un autre, soit à l'aide de machines télégraphiques, soit par tout autre moyen », et dit que le tribunal ordonnera la destruction des postes et des machines ou moyens de transmission. Cette loi modifiée régit encore la matière.

Avant 1830, les lignes télégraphiques ne formaient pas un véritable réseau; c'étaient des lignes qui rayonnaient de Paris vers les extrémités du territoire, construites à des époques très-éloignées les unes des autres et pour des besoins spéciaux. Après la révolution de juillet, l'administration conçut un plan d'ensemble, qu'elle se proposa de réaliser au fur et à mesure que les Chambres accorderaient les crédits nécessaires.

Le plan général de l'administration consistait dans la création d'une ligne nouvelle de Paris au Havre, et d'un système de lignes concentriques destinées à relier entre elles les lignes rayonnantes. L'utilité des lignes concentriques était incontestable: outre l'extension qu'elles donnaient au réseau par leur propre tracé et par les embranchements qu'elles pouvaient faciliter, elles offraient le grand avantage de permettre aux dépêches de s'écouler par une voie diffé-

rente, lorsque la voie directe se trouvait encombrée ou en dérangement.

Trois de ces lignes étaient projetées : la première devait relier la ligne de Paris à Toulon à celle de Bayonne par Avignon, Montpellier, Toulouse et Bordeaux ; la seconde, partant de Dijon, devait aboutir à Strasbourg en passant par Besançon, et la troisième se détachant de la ligne de l'Est à Metz, se serait dirigée sur Boulogne par Valenciennes et Lille, et de Boulogne aurait gagné la ligne de l'Ouest à Avranches, en passant par Caen et en coupant la ligne projetée de Paris au Havre. Le plan, parfaitement raisonné, donnait à une dépêche deux voies au moins pour arriver à destination, et faisait entrer dans le réseau les places fortes des frontières du Nord, les centres commerçants du littoral de la Manche et les villes importantes du Midi ; des embranchements spéciaux devaient rattacher Cherbourg, Boulogne, Nantes et Perpignan. Ce projet ne devait pas être exécuté en entier, car la Chambre des députés n'accorda les crédits que successivement et avec parcimonie.

Ce fut par la ligne du Sud que l'exécution commença.

La section d'Avignon à Montpellier fut terminée en mars 1832, et celle de Montpellier à Bordeaux en août 1834. Les embranchements de Nantes et de Cherbourg furent votés en 1833, celui de Perpignan la même année.

À la fin de 1841, on construisit de Calais à Boulogne une ligne destinée spécialement au service des dépêches d'Angleterre. En 1842, la ligne de jonction de Dijon à Strasbourg fut commencée, mais elle ne s'étendit pas au delà de Besançon.

Dans la session de 1844, le gouvernement présenta à la Chambre des députés le projet des lignes de Paris au Havre et de Metz à Avranches ; mais le projet de loi ne fut même pas mis en discussion, il arrivait trop tard. Le réseau de la télégraphie aérienne ne devait plus s'accroître en France, il était arrivé à son maximum de développement.

Au moyen d'un budget de 4 130 000 francs et de près de 5,000 kilomètres de lignes jalonnées de 534 stations, vingt-neuf villes étaient alors en correspondance avec Paris ; c'étaient :

Lille, Calais, Boulogne, Châlons, Metz, Strasbourg, Dijon, Besançon, Lyon, Valence, Avignon, Marseille, Toulon ;

Tours, Poitiers, Angoulême, Bordeaux, Bayonne ;

Agen, Toulouse, Narbonne, Perpignan, Montpellier, Nîmes ;

Avranches, Cherbourg, Brest, Rennes, Nantes.

Toutes ces villes étaient loin d'avoir la même importance politique ; l'expérience avait démontré la nécessité de couper les lignes par des stations intermédiaires, qui permettaient de rectifier les fausses transmissions et de jeter à la poste les dépêches empêchées de poursuivre leur route par l'état de la ligne.

Nous avons insisté sur ces détails de tracé, pour montrer combien la télégraphie aérienne a facilité les progrès de la télégraphie électrique, qui dans l'établissement de ses réseaux s'est inspirée des mêmes considérations.

Avant de terminer cette partie historique, nous dirons encore quelques mots du rôle que les machines de Chappe ont joué en Algérie et en Crimée.

Le réseau algérien fut construit de 1844 à 1854 ; M. César Lair dirigea les travaux et organisa les services pendant toute cette période.

Les lignes partant d'Alger desservaient vers l'Ouest et le Sud-Ouest : Blidah, Milianah, Médéah, Cherchel, Tenez, Orléansville, Mostaganem, Oran, Sidi-Bel-Abbès et Tlemcen ; vers l'Est : Aumale, Dellis, Bougie, Sétif, Constantine, Philippeville, Guelma, Bône, et enfin vers le Sud-Est : Batna et Biskra.

Les travaux furent exécutés par le génie militaire, sous la direction de fonctionnaires de l'administration télégraphique ; ils ne se firent pas sans danger, et souvent plusieurs bataillons durent accompagner et protéger les travailleurs.

Les postes télégraphiques appropriés au pays différaient notablement des stations françaises ; c'était en général des blockhaus flanqués aux angles de deux petits bastions et défendus extérieurement par un tambour en palissades percées de meurtrières ; un pareil ouvrage, avec cinq ou six défenseurs, pouvait résister aux attaques des malfaiteurs. Les stations étaient aussi plus éloignées en général les unes des autres qu'en France ; la pureté de l'atmosphère permit de les distancer de 40 à 42 kilomètres en moyenne.

La télégraphie aérienne, avant de disparaître, devait s'illustrer devant Sébastopol ; la mission française établit et maintint toutes les communications que comportait le siège. Le grand quartier général resta constamment en correspondance avec l'armée de siège et l'armée d'observation ; les postes aériens couronnèrent successivement toutes les redoutes et les ouvrages occupés par nos troupes ; pendant dix-huit mois de séjour en Crimée, le personnel de la télégraphie

fut exposé aux mêmes privations que l'armée et quelquefois aussi aux mêmes dangers.

Telle est, ajoute M. Gerspach, l'histoire du télégraphe aérien français et de son administration. Nous l'avons vu apparaître pendant la Révolution, et se mettre au service de la patrie menacée, puis se faire consacrer sous la Terreur, se développer sous le Directoire pour s'étendre de Boulogne à Venise, et de Brest à Mayence sous l'Empire; il languit pendant la Restauration, se relève sous le gouvernement de Juillet, se naturalise en Afrique, et enfin, vaincu par l'écrasante supériorité de la télégraphie électrique, il se retire pour reparaitre incidemment en Crimée.

La télégraphie aérienne a fourni une date à l'histoire des grandes inventions et à l'histoire de France; elle fut le point de départ des télégraphes qui sillonnent de nos jours les territoires civilisés, et il faut reconnaître qu'en indiquant le but elle a facilité la recherche et l'application du système merveilleux qui l'a remplacée. Avant le décret du 26 juillet 1793, la télégraphie n'existait pas, car on ne saurait donner le nom de télégraphes à ces systèmes de transmission de signaux légués par l'antiquité, qui n'étaient que des moyens incomplets et d'un usage limité à des cas prévus. De quelques projets et de quelques ébauches, le gouvernement français fit un principe et une institution; c'est un honneur pour lui d'avoir, le premier de tous, compris l'élément nouveau et sa puissance comme moyen de gouvernement et de civilisation; en adoptant les propositions de Claude Chappe, il a créé la télégraphie et donné une sanction anticipée à la plus belle invention du dix-neuvième siècle, la télégraphie électrique.

CHAPITRE II.

LE SYSTÈME DE CHAPPE.

DESCRIPTION.

Le système de Chappe a été complètement exposé dans le *Traité de télégraphie* de M. l'abbé Moigno. Nous indiquerons, d'après cet auteur, les détails principaux.

Le télégraphe se compose de trois pièces : *le régulateur* et les deux *indicateurs*.

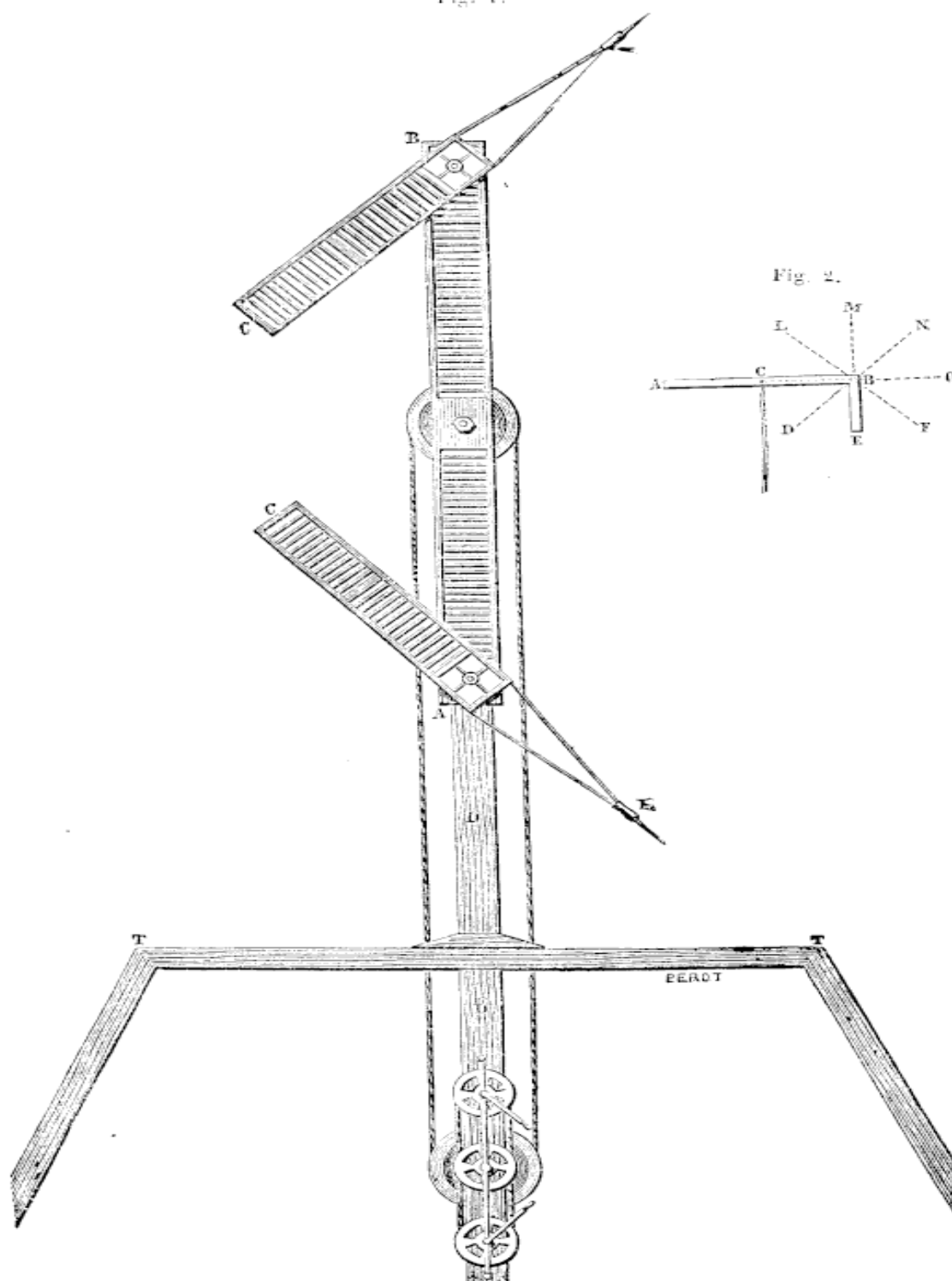
Le régulateur AB (*fig. 1*) a la forme d'un rectangle allongé ; il porte au centre un axe qui traverse la partie supérieure du mât vertical DD. Ce mât dépasse de 14 pieds le toit TT.

Le régulateur décrit un cercle dont le plan est vertical ; il pourrait donc fournir autant de signaux qu'il figurerait de diamètres distincts. Chappe a réduit les positions télégraphiques à quatre : *la verticale, l'horizontale, l'oblique à droite, l'oblique à gauche*, chacune d'elles inclinée à 45° .

Les deux indicateurs AC, BC ont aussi la forme de rectangles allongés ; ils sont mobiles aux deux extrémités du régulateur et décrivent un cercle dont le plan est parallèle à celui du régulateur. Pour empêcher la chute des extrémités libres CC, on équilibre le poids de chacune des branches visibles BC, AC par une branche invisible à distance AK, BK, qui rend l'indicateur tout à fait indifférent dans les diverses positions autour de l'axe.

Supposons le régulateur fixé à l'horizontale et portant un seul indicateur à son extrémité droite (*fig. 2*). En faisant décrire un cercle à l'indicateur BE autour de l'axe B et en l'arrêtant de 45° en 45° , on lui donnera ainsi huit positions ; six sont angulaires : BL,

Fig. 1.



BM, BN, BF, BE, BD; deux sont parallèles: BC, BO; cette dernière position a été supprimée comme n'étant pas suffisamment perçue, parce qu'elle est le prolongement du régulateur.

Les sept positions relatives de l'indicateur et du régulateur donnent ainsi sept signaux parfaitement distincts, rentrant tous dans l'estimation et la comparaison d'une verticale à une horizontale et à une oblique. Le signal CB se confond avec le régulateur et s'appelle zéro; deux, BL, BD, forment avec le régulateur un angle de 45° ; deux, BM, BE, un angle de 90° ; deux enfin, BN, BF, un angle de 135° . Pour distinguer ces diverses figures, on remarque que dans les positions BL, BM, BN, l'indicateur a toujours son extrémité libre tournée vers le ciel; cette même extrémité est toujours dirigée vers la terre dans les positions BF, BE et BD; on a tiré de là la désignation de l'angle en ajoutant les mots *ciel* et *terre* à l'inclinaison.

D'un autre côté, et pour abréger, au lieu de dire quarante-cinq degrés ciel, quatre-vingts degrés ciel, cent trente-cinq degrés ciel ou terre, on a pris les noms suivants, proposés par M. l'inspecteur Durand : *zéro, cinq ciel, dix ciel, quinze ciel, quinze terre, dix terre, cinq terre*, et l'on écrit les signes ainsi que le représente la fig. 3.

Le régulateur étant fixé dans une quelconque des quatre positions qu'il peut prendre, un seul indicateur placé à l'extrémité droite donne donc avec lui sept signaux. Il est évident que l'indicateur placé à l'extrémité gauche et considéré seul en donnerait précisément autant.

Maintenant si nous considérons les signaux qui peuvent résulter de la combinaison des sept signaux d'un indicateur avec les sept signaux de l'autre, nous verrons que si l'on met au zéro l'un des indicateurs et qu'on fasse passer l'autre par les sept positions, nous obtiendrons d'abord le double zéro horizontal ou le *fermé horizontal*, puis zéro cinq ciel, zéro dix ciel, zéro quinze ciel, zéro quinze terre, zéro dix terre, zéro cinq terre.

En élevant et maintenant à cinq ciel un des indicateurs, nous aurons cinq ciel zéro, deux cinq ciel, cinq et dix ciel, cinq et quinze ciel, cinq ciel quinze terre, cinq ciel dix terre, cinq ciel cinq terre, ce qui fait sept autres signaux; en élevant et maintenant à dix ciel un des indicateurs, on obtient sept nouveaux signaux, et ainsi de suite jusqu'à ce que les sept signaux d'un indicateur aient

multiplié les sept signaux de l'autre, ce qui donne en tout quarante-neuf signaux pour une seule position du régulateur. Mais celui-ci prend quatre positions différentes, ce qui donne quatre valeurs aux quarante-neuf signaux et élève à cent quatre-vingt-seize le nombre total fourni par le télégraphe Chappe. Ces signaux sont clairs, simples, faciles à dénommer, faciles à écrire; il est impossible de commettre une erreur de vision, de désignation ni de dessin. Mais une difficulté grave se présentait ici : au milieu des mouvements du télégraphe pour former un signal, comment désigner aux postes voisins que le signal actuellement formé est bon? Par quel signe indiquer qu'il est temps de le répéter et de l'écrire?

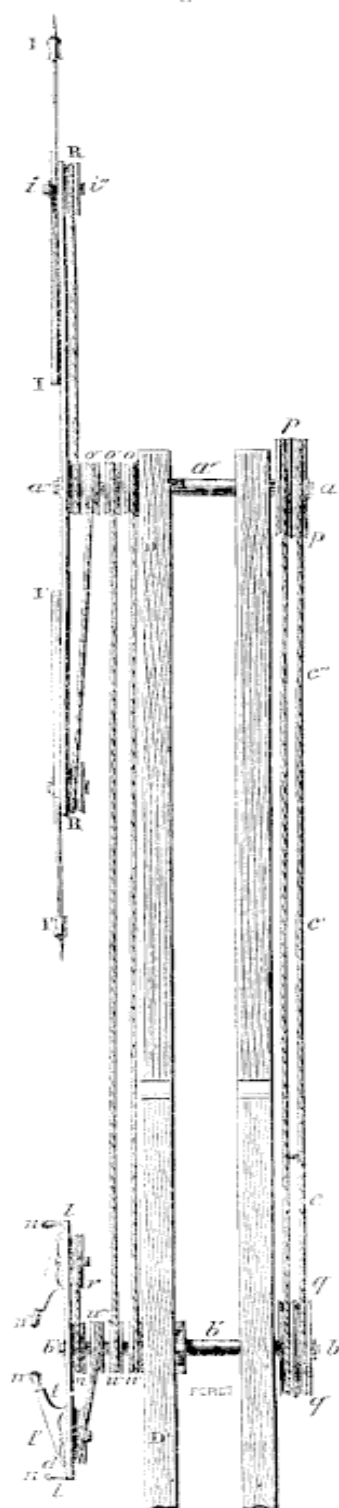
Les frères Chappe ont décidé qu'aucun signal ne serait formé sur le régulateur horizontal ni perpendiculaire, que tous les signaux seraient formés sur l'oblique de droite et sur l'oblique de gauche; ils ont encore admis qu'aucun signal n'aurait de valeur, et ne devrait par conséquent être écrit et répété, qu'après qu'étant formé sur une des deux obliques, il serait transporté tout formé soit à l'horizontale, soit à la verticale.

De cette façon, le stationnaire qui voit apparaître le signal sur l'oblique de droite ou de gauche, le remarque pour se préparer à le répéter, mais il ne l'écrit point; aussitôt qu'il le voit porter à l'horizontale ou à la verticale, il est sûr qu'il est bon, et alors il l'écrit et le répète. On appelle cette manœuvre assurer un signal, porter un signal. Dès lors aussi chaque signal, formé sur chaque oblique, prend une valeur double puisqu'il peut être porté à l'horizontale ou à la verticale; donc quarante-neuf signaux peuvent recevoir quatre-vingt-dix-huit significations, en partant de l'oblique de droite pour être affichés horizontalement ou verticalement, et de même pour l'oblique de gauche, en tout cent quatre-vingt-seize signaux.

Néanmoins les signaux des deux obliques ne seraient pas reconnaissables si les signaux de l'oblique de droite n'avaient pas une destination différente des signaux de l'oblique de gauche; car les uns et les autres se portant à l'horizontale et à la verticale, comme ils sont de tous points semblables, ils ne représenteraient tous en réalité que quatre-vingt-dix-huit signaux, à moins de noter d'où ils sont primitivement partis.

Or, les nécessités de la télégraphie exigent précisément qu'une grande partie des signaux soit consacrée au règlement et à la police des lignes, l'autre partie étant exclusivement réservée à la composi-

Fig. 4.



tion des dépêches. Ces deux espèces de signaux doivent être fort distincts sur le télégraphe et ne peuvent pas non plus être écrits confusément et dans le même lieu du procès-verbal. On a donc consacré à la partie réglementaire du service les signaux formés sur une oblique, et à la correspondance ceux qui sont formés sur l'autre; on a ainsi obtenu quatre-vingt-dix-huit signaux réglementaires et quatre-vingt-dix-huit signaux de dépêches qui s'écrivent tous à l'horizontale et à la verticale, mais séparément et sur des points différents marqués à l'avance sur le papier.

Les signaux prennent leur nom lorsqu'ils sont formés à l'oblique; toutefois ils ne s'écrivent qu'à l'horizontale ou à la verticale.

Il reste à expliquer le mécanisme qui fait prendre au régulateur et aux indicateurs toutes les positions relatives qui constituent les signaux.

L'axe a , a' , a'' (fig. 4), qui commande le régulateur, est mis en rotation par un système de deux poulies p et q reliées entre elles par une corde en laiton. La poulie q est montée sur un axe b , b' , b'' qui porte un double levier l , l' . Ce levier est terminé par deux poignées en bois, à angle droit, ln , ln' , au moyen desquelles on le tourne. Le régulateur suit ainsi les mouvements du levier l et demeure avec lui dans un parallélisme parfait.

Pour communiquer le mouvement aux indicateurs, le mécanisme est analogue. Prenons pour exemple l'indicateur II; il est porté sur un axe i'' , sur lequel est adaptée une poulie en relation elle-même avec la poulie o' montée sur un arbre creux. Cet arbre est traversé par l'axe du régulateur a ,

a' , a'' , autour duquel il tourne librement. La poulie a' , par l'intermédiaire de la poulie a , reçoit tous ses mouvements de la poulie u' commandée par la roue u à laquelle elle est fixée par un axe creux qui tourne sur l'axe b , b' , b'' du levier. Enfin la poulie u est menée par la poulie v , montée sur un arbre traversant le levier II . L'extrémité de cet arbre est fixée à une manivelle u' dont le mouvement est renvoyé à l'indicateur II .

Par ces diverses dispositions, le mécanisme intérieur donne l'image exacte du mouvement extérieur. La plus grande vitesse qu'on puisse atteindre correspond à l'échange de trois signaux par minute. Outre les signaux ordinaires, on a adopté aussi des demi-signaux qui sont au nombre de quatre : le double zéro ou fermé vertical ; le fermé ou double zéro horizontal ; le fermé à l'oblique de droite, le fermé à l'oblique de gauche ; ils se forment très-facilement et servent à distinguer les groupes de signaux.

Dans l'hypothèse du passage de trois signaux par minute, les différents temps doivent à peu près être ainsi partagés : observer 4" — former à l'oblique 4" — observer le porté et porter 4" — écrire 4" — vérifier 4" — total 20".

Chappe prétendait que, quand le temps est beau et que les brouillards ou les titillations de l'atmosphère ne sont pas un obstacle à la visibilité, le premier signal de la correspondance ne doit mettre que 10 à 12 minutes pour arriver de Paris à Toulon, villes éloignées de 215 lieues et réunies par une ligne télégraphique de cent vingt télégraphes ; mais il ajoutait que si l'on suppose une correspondance suivie et directe de Paris à Toulon, il n'arriverait communément à Toulon qu'un signal par minute.

La moyenne du temps utilisé pour la transmission dans une journée, calculée sur quarante années de pratique, ne dépasse pas six heures ; il arrivait fréquemment que pendant l'hiver on ne pouvait pas travailler plus de trois heures par jour. Lorsque les messages étaient nombreux, la moitié seulement des dépêches arrivait à destination le jour de leur date, la seconde moitié ne faisait qu'une partie du trajet par les télégraphes et était réexpédiée par la poste. Le gouvernement se préoccupa souvent de cette insuffisance de la télégraphie, et fit rechercher à différentes reprises les moyens d'accélérer la transmission.

Les moyens pouvaient être l'un des trois suivants : modification de l'appareil, perfectionnement du vocabulaire, amélioration des

lignes télégraphiques de nuit; l'avènement du télégraphe électrique changea brusquement la voie ouverte aux chercheurs.

Nous compléterons ces explications par quelques renseignements sur l'organisation du service.

Dès que l'employé apercevait un signal à l'une des stations correspondantes, il mettait son régulateur en mouvement, lui faisait prendre la position oblique, composait le signal et le portait tout composé sur l'horizontale ou la verticale, ce qui s'appelait *assurer* le signal; il ne changeait le *porté* que lorsque le signal était reproduit par le porté suivant. Le passage d'un signal exigeait les opérations ci-après : observer le signal formé par le correspondant, le former à l'oblique, observer s'il est porté sur l'horizontale ou la verticale, le porter de même, l'écrire sur un procès-verbal, et enfin vérifier s'il est exactement reproduit par le poste suivant.

Chaque dépêche était précédée d'un signal particulier, qui était : *la grande urgence* ou *la grande activité* quand la dépêche s'éloignait de Paris, et *la petite urgence* ou *la petite activité* quand la dépêche marchait sur Paris. La dépêche précédée de la *petite urgence* l'emportait sur celle qui était précédée de la *grande activité*, mais devait céder le pas devant la *grande urgence*.

Ainsi, lorsque deux dépêches se croisaient en un point de la ligne, le signal précédant ces dépêches faisait connaître au stationnaire s'il devait abandonner sa transmission pour prendre celle qui lui arrivait en sens opposé. Si par exemple il transmettait une dépêche précédée de la *petite urgence*, et s'il voyait arriver la *grande urgence*, il abandonnait son signal, et la dépêche précédée de la *grande urgence* passait. Après sa transmission chaque stationnaire reprenait le signal qu'il avait abandonné, et la transmission de la première dépêche continuait.

Il arrivait souvent que la dépêche étant arrêtée par le brouillard entre deux postes, celui qui cessait de voir son correspondant arborait un signal particulier, *brumaire*, qu'il transmettait du côté opposé en le faisant suivre d'un autre signal particulier, *indicatif*, faisant connaître le poste qui n'était pas aperçu. Chaque employé abandonnait alors le signal de la dépêche pour prendre le signal du *brumaire*, jusqu'au moment où, le brouillard se dissipant, le poste qui avait arrêté la transmission la reprenait en relevant le *brumaire*. Afin de tenir les employés en haleine pendant la durée d'un brumaire et pour qu'ils fussent toujours présents à leurs postes

et prêts à recommencer la transmission, les employés des postes extrêmes avaient ordre, de temps en temps (toutes les quatre ou cinq minutes), de *rattaquer*, ce qui consistait à reprendre le dernier signal transmis; chaque employé devait à son tour développer le signal auquel il s'était arrêté; quand ce *rattaqué* arrivait au dernier poste, le stationnaire transmettait de nouveau le *brumaire*, qui faisait connaître que la cause de l'interruption subsistait toujours.

Lorsqu'un employé ne prenait pas le signal qui lui était présenté par son correspondant, celui-ci transmettait le signal *absence* suivi de l'*indicatif* du poste. Ces absences étaient constatées sur les procès-verbaux et punies sévèrement.

Il existait d'autres signaux réglementaires, tels que le *petit dérangement*, qui indiquait un dérangement facilement réparable par le stationnaire lui-même, la rupture d'une corde, par exemple; le *grand dérangement*, qui nécessitait la présence de l'inspecteur (ces signaux étaient toujours suivis de l'*indicatif* du poste où avait lieu le dérangement), l'*erreur* qui annulait le signal précédent, et l'*attente*, qui indiquait aux employés qu'ils devaient se tenir prêts à prendre une transmission.

La transmission n'était pas continue sur les lignes; sur quelques-unes, on passait à peine deux ou trois dépêches par jour. Afin de ne pas forcer les employés à regarder constamment à leurs lunettes, on avait des signaux particuliers représentant des congés d'un quart d'heure, d'une demi-heure, etc. Lorsque le congé était donné, l'employé fermait son télégraphe (fermé vertical) et pouvait s'absenter. A l'expiration du congé, les deux postes extrêmes le relevaient en transmettant la grande et la petite activité; ils s'assuraient que la ligne était en bon état et donnaient un nouveau congé, s'il n'y avait aucune dépêche à transmettre,

Pour exercer les employés sur les lignes peu occupées, on transmettait des dépêches d'exercice. Ces dépêches, toujours précédées de la *grande* ou de la *petite activité*, devaient céder le pas devant les dépêches officielles précédées de la *grande* ou de la *petite urgence*.

VOCABULAIRE.

Les signaux télégraphiques peuvent reproduire la pensée de plusieurs manières, soit en représentant des *phrases* convenues à l'a-

vance sur une éventualité prévue, soit en figurant des *lettres* pour former des mots, enfin en exprimant des *chiffres* conventionnels consignés dans un double vocabulaire, l'un pour celui qui traduit les idées en signaux, l'autre pour celui qui interprète les signaux.

Le premier système, purement *hiéroglyphique*, est le plus pauvre et en même temps le plus simple; il a été adopté dans l'antiquité. Les frères Chappe l'ont conservé pour les signaux réglementaires indicatifs.

Ces signaux, au nombre de quatre-vingt-douze primitifs, formés à l'*oblique de gauche*, expriment l'*urgence*, la *grande activité*, la *simple activité*, la *destination* de la dépêche, la *fin* des transmissions, les *congés* d'une demi-heure, d'une heure, l'*erreur* commise dans un signal, l'*absence* ou le *retard* d'un stationnaire, le *brouillard*, la *pluie*, le *mirage*, les *bris* des télégraphes par le *vent*, le *feu*, etc., en un mot, tous les cas prévus qui doivent être connus de l'administration, ou ceux qu'elle veut indiquer à tous les postes d'une ligne ou à chaque poste en particulier. Quatre-vingt-douze signaux primitifs, soit seuls, soit combinés, suffisent à toutes les éventualités et forment un langage connu de tous les employés.

Le système *alphabétique* semble plus large et plus commode, mais si l'on réfléchit qu'il faut au moins un signal pour exprimer chaque lettre, on reconnaîtra bientôt qu'il faudrait beaucoup de temps pour former quelques mots.

Le troisième système, dit *numérique*, est le plus fécond et le plus complet. Les signes représentent des nombres; on peut les combiner et les multiplier comme les nombres eux-mêmes; on peut les appliquer à des lettres, à des mots et à des phrases toutes préparées, de façon à exprimer beaucoup de choses par peu de signes.

Les frères Chappe ont consacré quatre-vingt-douze des signes primitifs, formés à l'*oblique de droite*, à l'expression des quatre-vingt-douze nombres, depuis un jusqu'à quatre-vingt-douze; puis ils ont fait un vocabulaire de quatre-vingt-douze pages, renfermant chacune quatre-vingt-douze mots; ils sont convenus que le premier signal donné par le télégraphe indiquait la page du vocabulaire et que le second signal indiquait le numéro de la page répondant au mot de la dépêche; de cette façon, ils peuvent exprimer par deux signaux huit mille quatre cent soixante-quatre mots.

Mais ce vocabulaire lui-même serait insuffisant pour exprimer toutes les pensées et annoncer tous les cas imprévus. Les frères

Chappe ont donc fait un second vocabulaire, appelé *vocabulaire phrasique*, formé également de quatre-vingt-douze pages contenant chacune quatre-vingt-douze phrases ou membres de phrases, ce qui fait huit mille quatre cent soixante-quatre autres portions d'idées reproduites. Ces phrases s'appliquent particulièrement à la marine et à la guerre, mais dans ce cas, il faut un signe pour indiquer le vocabulaire phrasique, un autre pour la page et un troisième pour le numéro de la page.

Enfin on a dû créer un troisième vocabulaire, appelé *géographique*, contenant les noms de lieux et quelques phrases employées dans les correspondances.

Les vocabulaires créés pour l'usage de la télégraphie aérienne ont été conservés dans le service électrique pour la transmission des dépêches secrètes échangées entre divers fonctionnaires.

Nous donnons ci-dessous un spécimen d'une page de vocabulaire Chappe.

Spécimen du Vocabulaire numérique de Chappe.

(Page 1.)

1	a	a		47	ja	la	lesquels	← —
2	b	après		48	je	le	lesquelles	↖ —
3	c	avant		49	ji	les	lequel	↗ —
4	d	avec		50	jo	leur	laquelle	→ —
5	e	avoir		51	ju	malgré	le plus prompt possible	└
6	f	avoir dû	aux	52	la	me	cent	┐ —
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
43	fe	ici	généraux	89	vi	vos		
44	fi	il ou lui	était	90	vo	votre	qui être	┐
45	fo	ils ou eux		91	vu	vous		
46	fu	je ou moi		92	é	y		

DEUXIÈME PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE.

Au moment où l'on songeait à perfectionner la télégraphie aérienne par l'étude de divers systèmes de télégraphes de nuit, apparut la télégraphie électrique. Des travaux scientifiques considérables avaient préparé la lumière, et en 1838 Steinheil, à Munich, avait établi un fil pour communiquer à plus de 40 kilomètres. Une véritable ligne électrique avait été construite en Angleterre, en 1841, sur le chemin de fer du Great-Western entre Londres et la station de Slough, sur une longueur de 25 milles.

En France ce ne fut qu'au commencement de 1845 que fonctionna la première ligne, de Paris à Rouen, exécutée par M. Gounelle. La loi du 3 juillet 1846, votée sur les instances d'Arago, fit entrer la télégraphie électrique dans la voie de progrès rapides qu'elle a parcourue jusqu'à ce jour. Nous en exposerons maintenant les procédés en remontant dans l'ordre des dates aux faits scientifiques qui ont rendu possible cette grande application; nous commencerons nécessairement par des généralités sur l'électricité dynamique.

CHAPITRE PREMIER.

L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

SOURCES.

Les sources d'électricité dynamique les plus usitées en télégraphie sont les piles. Ces appareils consistent en des séries de vases dans lesquels s'accomplissent des réactions chimiques spéciales, donnant lieu au dégagement de l'électricité qu'il ne s'agit que de recueillir et de diriger dans le conducteur.

Sans entreprendre une théorie sur la nature de l'agent électrique, nous le comparerons à un fluide matériel, d'une ténuité extrême, et nous supposerons que le courant électrique, qui traverse le conducteur réunissant les deux pôles de la pile, correspond en réalité à un transport de matière électrique ou *éther* qui s'échange sans cesse du pôle positif au pôle négatif.

Pour préciser cette comparaison, considérons deux réservoirs d'air de grande dimension communiquant entre eux par un long tube. Admettons qu'une pompe aspirante et foulante, animée d'un mouvement continu, puise sans cesse dans l'un des réservoirs pour refouler dans l'autre. Cet assemblage nous donnera une idée assez nette de l'hypothèse que nous faisons sur la nature du fluide électrique. Au pôle positif de la pile nous aurons de l'éther condensé, comme à l'un des réservoirs nous aurons de l'air comprimé; au pôle négatif nous aurons de l'éther raréfié. La charge ou pression, qui dans le tube de débit va progressivement en diminuant du réservoir de pression au réservoir de vide, sera l'analogue de la *tension* qui suit une loi semblable dans le conducteur entre les deux pôles.

La réaction chimique, source de l'électricité, pourra être assimilée au jeu de la pompe : l'éther à l'état neutre, c'est-à-dire à la tension normale, qui est répandu dans les corps soumis à la réaction, se trouve, par le fait même de l'action chimique (décomposition et

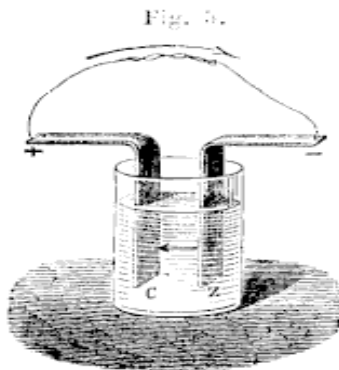
combinaison), accumulé à l'un des pôles avec une tension élevée (pôle positif), tandis qu'il est enlevé à l'autre pôle (pôle négatif), où il possède une tension basse, abaissée d'un nombre de degrés déterminé au-dessous de la tension normale.

La propriété fondamentale de la pile découverte par Volta consiste en ce que, *pour une même réaction chimique*, la différence des tensions électriques aux deux pôles est constante, quelles que soient les dimensions et la forme des appareils générateurs. Suivant les cas, le *flux* ou la quantité d'électricité débitée par seconde sera plus ou moins grande, mais l'écoulement se fera toujours sous la même charge motrice. Nous aurons occasion de revenir sur ces notions en étudiant les lois de la propagation.

Nous avons à parler ici des piles usitées en télégraphie. Le progrès a été lent : le premier générateur d'électricité dynamique, la pile à colonne de Volta, était incapable de produire un courant constant. Ainsi que nous le verrons, les lois très-simples qui régissent ces phénomènes s'appliquent à *l'état de régime*, c'est-à-dire à un état de continuité dans lequel la production et la dépense restent identiques.

Piles à courant constant.

Nous allons voir comment s'est faite la découverte des piles à courant constant.



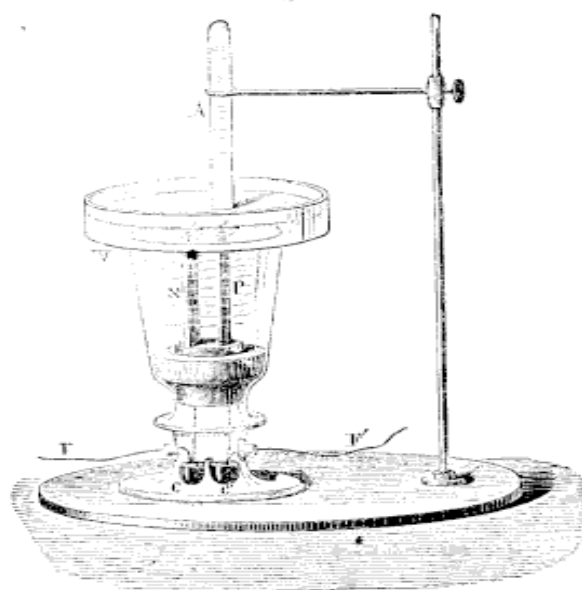
Considérons l'appareil représenté *fig. 5*. Il consiste en un vase de verre rempli d'eau mêlée d'acide sulfurique ; deux plaques, l'une C de cuivre, l'autre Z de zinc, plongent dans le liquide, et leurs deux extrémités sont réunies par un fil conducteur.

Les signes + et — indiquent le sens de la tension électrique à chaque pôle (extrémité des plaques) et la flèche supérieure montre le sens du courant dans le conducteur.

Cet appareil constitue un générateur continu ; tant que le zinc ou l'acide n'a pas disparu, le courant se manifeste. Nous n'avons pas besoin d'expliquer la réaction chimique qui se produit ; on reconnaît aisément les matériaux mis en présence pour la préparation de l'hydrogène. La plaque de cuivre C n'est pas attaquée, elle sert de collecteur.

On a figuré aussi à l'intérieur du liquide une flèche dirigée suivant le sens du courant intérieur.

Fig. 6.



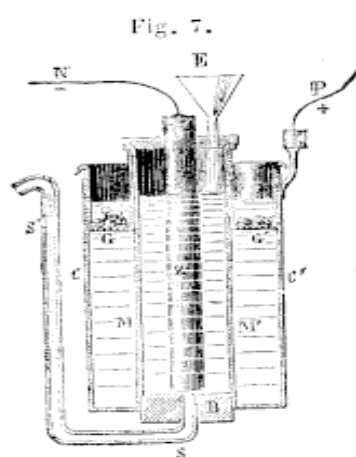
L'expérience a montré, en effet, que la propagation s'effectuait réellement ainsi, ce qui est conforme à l'idée que nous nous faisons du courant parcourant un cycle fermé.

Étudions de plus près cet appareil; l'hydrogène dégagé par la réaction chimique se porte sur la lame de cuivre; l'oxygène vient sur la lame de zinc, qu'il oxyde et transforme en sulfate de zinc. Pour recueillir l'hydrogène, Daniell disposa au-dessus du cuivre une éprouvette, ainsi que le représente la *fig. 6*.

Ce dégagement d'hydrogène sur le cuivre est la cause principale de l'affaiblissement du courant après un certain temps de fonctionnement; dans cet état la pile est dite *polarisée*. Pour remédier à cet inconvénient, Daniell a construit une pile dont toutes les parties se reconstituent dans l'état initial à mesure qu'une modification se produit.

Pile Daniell.

Le cuivre est placé en contact avec du sulfate de cuivre; on lui



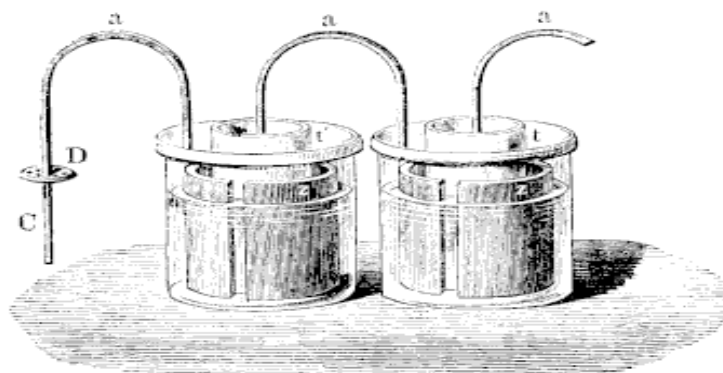
donne la forme d'un vase cylindrique CC' (*fig. 7*). Le zinc plonge dans l'eau acidulée que renferme un vase poreux MM' qui laisse filtrer une couche liquide continue entre le zinc et le cuivre. Le sulfate de cuivre fournit par sa décomposition, sous l'influence du courant, du cuivre qui s'attache au vase CC' et de l'acide sulfurique qui active la réaction.

Pour remédier à l'appauvrissement de la dissolution de sulfate de cuivre, on dispose des cristaux sur la galerie GG' percée de trous. L'entonnoir E sert à verser l'acide au-

fur et à mesure de l'épuisement de la liqueur renfermée dans le vase MM'. Le tube SS' sert à l'écoulement de la dissolution de sulfate de zinc.

On a simplifié le type primitif de la pile de Daniell en la constituant ainsi que le représente la *fig. 8*. Il y a à l'extérieur un vase

Fig. 8.



en verre, puis un cylindre concentrique en zinc; au centre, un vase poreux dans lequel plonge une lame de cuivre. L'eau acidulée d'acide sulfurique est placée à l'extérieur et la dissolution de sulfate de cuivre se trouve dans le vase poreux.

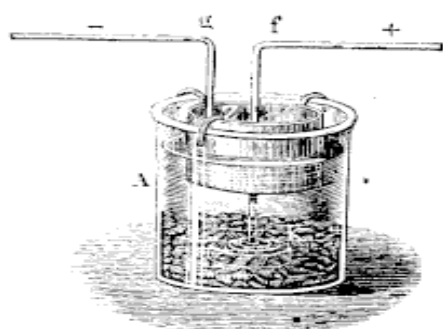
Un dernier progrès, qui concerne d'ailleurs tous les éléments dans lesquels on emploie le zinc, consiste à amalgamer ce métal. Dans cet état, le zinc n'est attaqué par l'eau acidulée que lorsque le circuit est fermé.

Pile Callaud.

L'emploi d'un vase poreux présente certains inconvénients : s'il est trop perméable, la dissolution de sulfate de cuivre le traverse trop facilement et produit sur le zinc des dépôts de cuivre qui engendrent des courants partiels nuisibles; si le vase poreux est trop dense, il offre au courant une trop grande résistance.

M. Callaud a imaginé une disposition où ce vase peut être supprimé. La différence de densité entre l'eau

Fig. 9.



saturée de sulfate de cuivre et l'eau acidulée produit dans le vase en verre une séparation des niveaux; il est facile alors de disposer le zinc pour qu'il reste suspendu dans l'eau acidulée qui occupe la partie supérieure. Un gros fil de cuivre recouvert de gutta-percha et terminé par un ruban de cuivre plonge au fond du vase. La disposition de cette pile est représentée *fig. 9*.

Pile Grove.

C'est la disposition de la pile Daniell, avec cette différence que le vase poreux renferme de l'acide azotique au lieu de sulfate de cuivre et que le cuivre est remplacé par du platine. L'absorption de l'hydrogène a lieu par l'acide azotique et la lame de platine n'est pas *polarisée* (on appelle ainsi l'état électrique particulier que produit le dépôt d'un gaz). La pile Grove donne des effets plus énergiques que la pile Daniell.

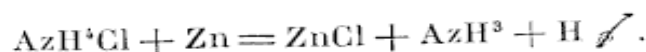
Pile Bunsen.

Cet appareil est une simplification du précédent; le platine est remplacé par un corps également bon conducteur et moins cher, le charbon des cornues à gaz.

Pile Léclanché.

Avec la disposition de Daniell, le sulfate de cuivre dissous est remplacé ici par un mélange de charbon et de bioxyde de manganèse qui remplit le vase poreux. Au lieu de l'électrode cuivre, on emploie un charbon K (*fig. 10*); enfin le zinc a la forme d'un cylindre Z qui se loge dans un angle du vase en verre où est placée, non plus de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, mais une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque.

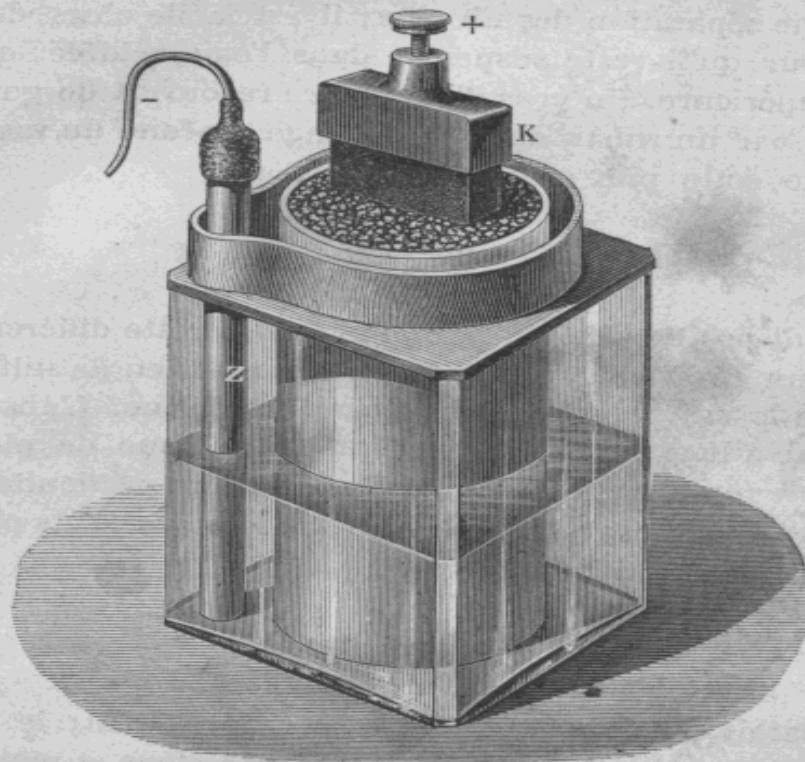
La réaction chimique s'écrit ainsi :



L'ammoniaque se dissout dans l'eau, l'hydrogène traverse le vase poreux et réduit le bioxyde de manganèse :



Fig. 10.

*Pile Marié-Davy.*

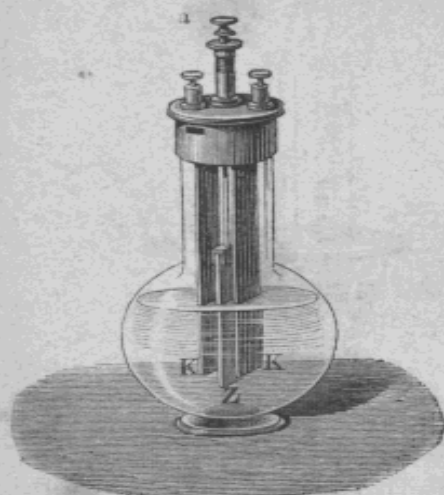
Elle est aussi une variante de la pile Daniell; le cuivre est remplacé par du charbon, le sulfate de cuivre dissous, par une pâte de sulfate de mercure; le zinc plonge dans l'eau acidulée avec l'acide sulfurique.

Pile Gaiffe.

On peut, avec des piles à un seul liquide, obtenir des courants constants d'une faible durée. Pour certaines applications où l'énergie de la pile est surtout nécessaire, on trouve une bonne solution dans la pile Gaiffe.

Deux lames de charbon KK (*fig. 11*) sont placées dans un vase en verre; une lame de zinc Z est interposée entre eux. Le vase est rempli d'une dissolution de bichromate de potasse additionnée d'acide sulfurique suivant les proportions :

Fig. 11.



Eau	72	} 400 parties.
Acide sulfurique	16	
Bichromate de potasse	12	

La réaction chimique est la suivante : le bichromate est décomposé par l'acide sulfurique, le résultat est la production d'un alun de chrome soluble (sulfate double de potasse et d'oxyde de chrome) et d'eau (hydrogène et oxygène).

Cette pile ne dégage point de gaz et peut être comparée pour l'énergie aux piles Bunsen. De plus, avec la disposition adoptée par M. Gaiffe, le zinc peut être retiré du vase en verre, ou plutôt élevé au-dessus du niveau du liquide actif. Cette disposition empêche l'usure des réactifs quand on n'utilise pas le courant.

Pile à gaz de Grove.

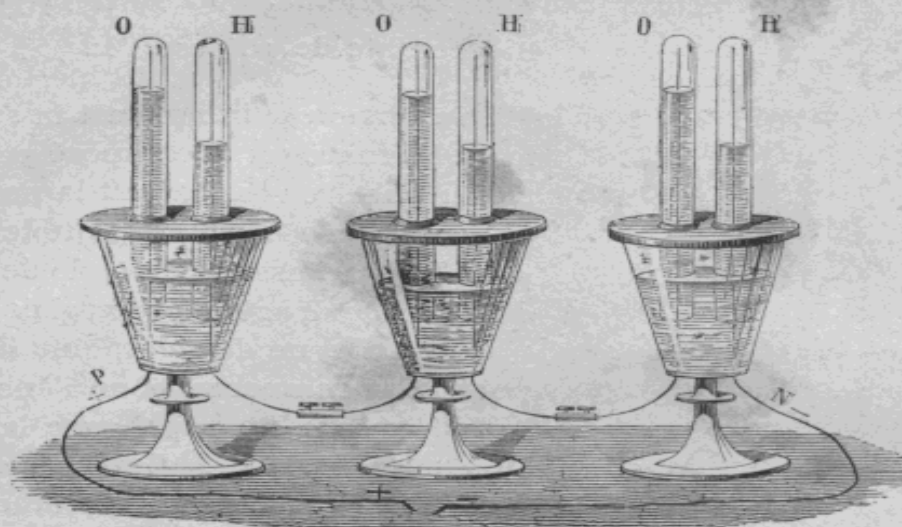
Cette pile est fondée sur la propriété de *polarisation* que nous avons signalée déjà au lecteur.

Plaçons à la suite les uns des autres une série de vases renfermant de l'eau acidulée par l'acide sulfurique et présentant chacun deux lames de platine qui traversent le fond ; associons les lames par des conducteurs, ainsi que le représente la *fig. 12*. On observera, au passage d'un courant produit par une pile reliée aux deux lames extrêmes, un dégagement d'hydrogène et d'oxygène résultant de la décomposition de l'eau ; pour isoler les deux gaz, il suffira de placer deux éprouvettes dans chaque vase.

Supposons que la pile ayant fonctionné pendant un certain temps de façon à remplir les éprouvettes dans la proportion connue (un volume d'oxygène pour deux volumes d'hydrogène), on arrête le courant. L'appareil ainsi constitué va devenir une pile véritable par suite de la *polarisation* (état électrique particulier des lames sur lesquelles les gaz se sont condensés). La dernière lame qui plonge dans l'hydrogène est le pôle négatif, la première qui plonge dans l'oxygène est le pôle positif.

Le courant naît de la recomposition des gaz ; et ce qui est remar-

Fig. 12.



quable, c'est que, pour le constituer, on peut alimenter chacune des éprouvettes par un procédé quelconque ; le courant persiste si l'arrivée des gaz a lieu dans la proportion voulue pour former la combinaison chimique.

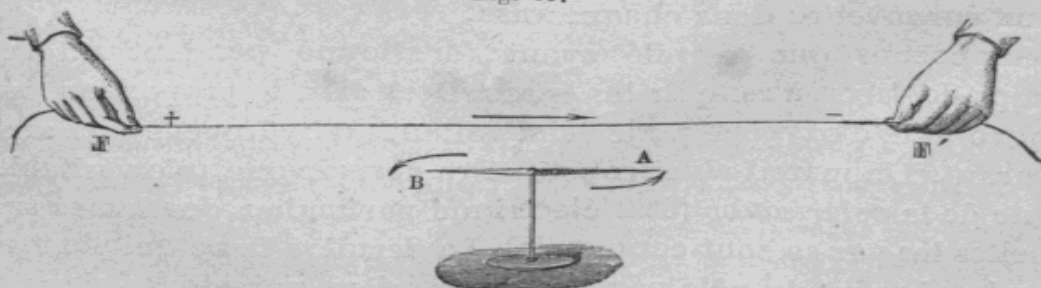
EFFET MÉCANIQUE DU COURANT.

Expérience d'Oerstedt.

C'est à Oerstedt (1820) qu'on doit la découverte de l'action du courant sur l'aiguille aimantée.

Si l'on met en présence de l'aiguille aimantée librement suspendue AB, dans la position représentée par la *fig. 13*, le courant qui

Fig. 13.



marche de F en F' du sud au nord, on voit l'aiguille tourner de telle façon que son pôle austral se porte vers l'ouest.

Si le courant est placé dans la même direction, mais au-dessous de l'aiguille (*fig. 14*), on voit le pôle austral se diriger vers l'est.

Fig. 14.

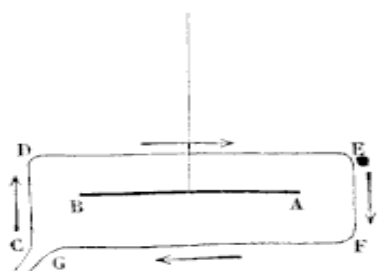


Pour coordonner tous les résultats, Ampère a eu l'idée ingénieuse de supposer un spectateur couché dans le courant, qui regarde l'aiguille aimantée, et dont le corps est parcouru par un courant qui entre par les pieds et sort par la tête, l'énoncé d'Ampère est celui-ci : *Le pôle austral de l'aiguille se dirige toujours vers la gauche de l'observateur*. L'expérience d'Oerstedt est capitale dans la science, on l'invoque constamment pour révéler l'existence d'un courant.

Galvanomètres.

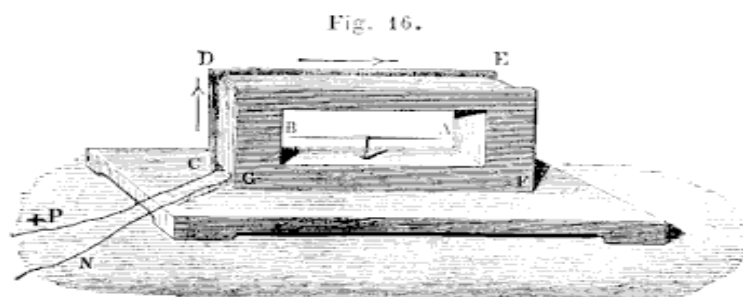
Lorsque l'aiguille aimantée est déviée par le courant, l'action de la terre représente une force antagoniste constante qui tend à ramener la boussole à son orientation première ; suivant la nature du courant, cette déviation est plus ou moins grande. Si donc on établit une graduation empirique, on possède ainsi un moyen de mesure. Mais pour rendre l'action plus sensible, Schweigger eut l'idée d'employer la disposition suivante réalisée dans l'instrument nommé *galvanomètre* ou *multiplicateur*.

On fait circuler le courant, ainsi qu'on le voit dans la *fig. 15*, autour de l'aiguille aimantée AB suspendue à un fil, les quatre actions exercées par les côtés CD, DE, EF, FG, concourent à diriger le pôle austral du même côté. L'application de la règle d'Ampère à ce cas particulier en donne facilement la raison.



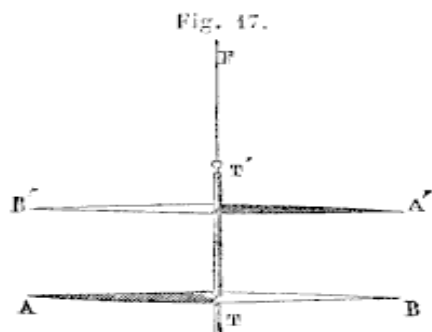
L'effet de multiplication sera augmenté encore si, au lieu d'un seul tour, le courant en fait un grand nombre autour de l'aiguille.

Le galvanomètre (*fig. 16*) se trouve en réalité constitué d'un fil métallique enroulé un grand nombre de fois autour d'un cadre, au centre duquel est placée une aiguille aimantée mobile autour d'un axe vertical. Ce fil est recouvert de soie afin que les divers



tours soient isolés les uns des autres; on ne dépasse cependant pas une certaine limite dans le nombre des tours, car on affaiblit le courant en le forçant à passer à travers une longueur de plus en plus grande et l'on perd ainsi d'un côté ce que l'on gagne de l'autre. Nous verrons plus tard que suivant la nature des expériences, on construit des galvanomètres à *gros* fil ou à fil *fin*; on varie aussi les effets en agissant sur le nombre des circonvolutions.

Nobili a rendu le galvanomètre encore plus sensible en neutralisant partiellement l'action du magnétisme terrestre. On obtient ce résultat au moyen de deux aiguilles AB, A'B' égales (*fig. 17*), fixées au même axe TT'. Les pôles sont aimantés en sens contraire : un pareil système n'est pas dirigé par l'action de la terre, on le nomme *astatique*. Dans la pratique l'aimantation différant un peu et le parallélisme n'étant pas rigoureux, il y a en réalité une direction fixe, mais la force directrice est très-faible et l'instrument est apte à déceler la présence des plus petits courants.



Boussole de sinus.

On démontre que les intensités de deux courants sont entre elles comme les *sinus* des angles de déviation : de là un moyen simple de mesure. Pour faciliter la lecture de l'angle dont le sinus donnera un

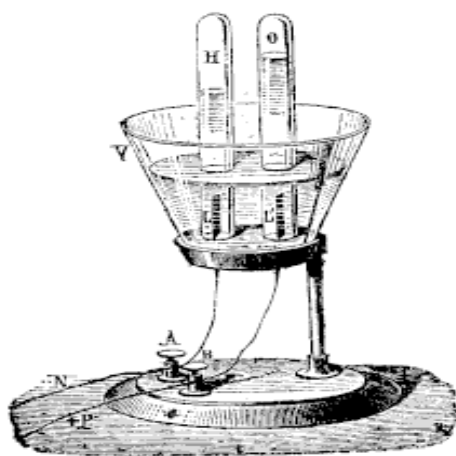
nombre proportionnel à l'intensité, on dispose le cadre sur un disque mobile et l'on mesure l'angle dont il faut faire tourner ce disque pour ramener l'aiguille à la position initiale. Le déplacement du repère fixé au disque est indiqué sur un cercle divisé placé sur la partie fixe qui encadre le disque mobile; l'appareil ainsi disposé porte le nom de *boussole de sinus*.

ACTION CHIMIQUE DU COURANT.

Voltamètre.

Le courant de la pile, en traversant l'eau acidulée, la décompose;

Fig. 18.



on réalise cette expérience dans un appareil appelé *voltamètre*, représenté *fig. 18*. Il se compose d'un vase en verre V dont le fond est traversé par deux lames de platine L et L'. Le vase est rempli d'eau acidulée, deux petites éprouvettes H, O, remplies de liquide, sont posées sur les deux lames de platine qui sont reliées chacune avec un des pôles d'une pile. Dès que le courant passe la décomposition a lieu; ces deux éprouvettes se remplissent respective-

ment d'hydrogène et d'oxygène dans la proportion de 2 volumes du premier gaz pour 1 volume du second.

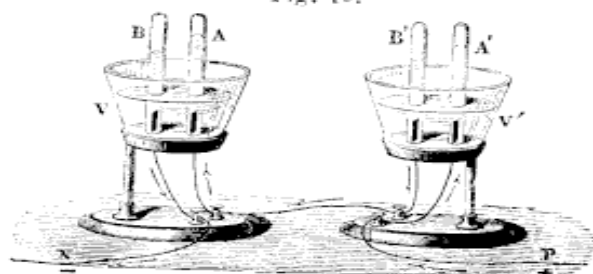
L'hydrogène se dépose sur la lame par laquelle le courant *sort* du liquide, l'oxygène se porte au contraire sur la lame par laquelle le courant *entre* dans le liquide. Les deux lames L et L' sont appelées des *électrodes*: la lame L' est dite l'électrode positive, correspondant au pôle *cuivre* de la pile, la lame L est l'électrode négative correspondant au pôle *zinc*. Il est bon de remarquer à ce propos que dans un élément le pôle négatif correspond toujours au métal attaqué. Par une convention généralement admise, le sens normal du courant dans le conducteur est celui de l'écoulement du fluide électrique allant du pôle positif vers le pôle négatif.

Le courant décompose aussi les sels métalliques: le métal se porte au pôle négatif, les autres éléments sont au pôle positif.

Loi de Faraday.

Faraday a d'abord établi que les diverses parties d'un courant

Fig. 19.

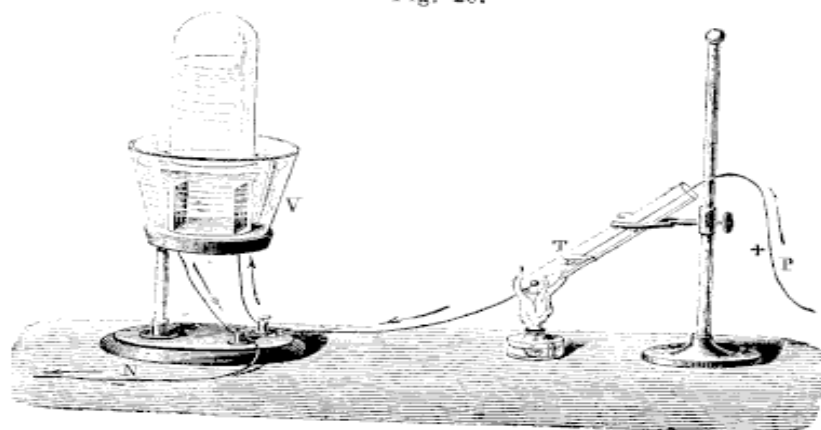


sont également actives pour produire la décomposition chimique. En d'autres termes, le courant est partout homogène, le flux entre deux sections quelconques est identique, et le travail chimique que développe ce mouvement est aussi le même

dans chaque tranche. La démonstration est facile avec deux voltamètres V et V' (fig. 19), disposés à la suite l'un de l'autre dans le circuit; les volumes des gaz dégagés sont identiques dans les deux appareils.

Faraday substitua ensuite, à l'un des voltamètres, un vase renfermant un sel métallique. La fig. 20 représente le dispositif dans lequel

Fig. 20.



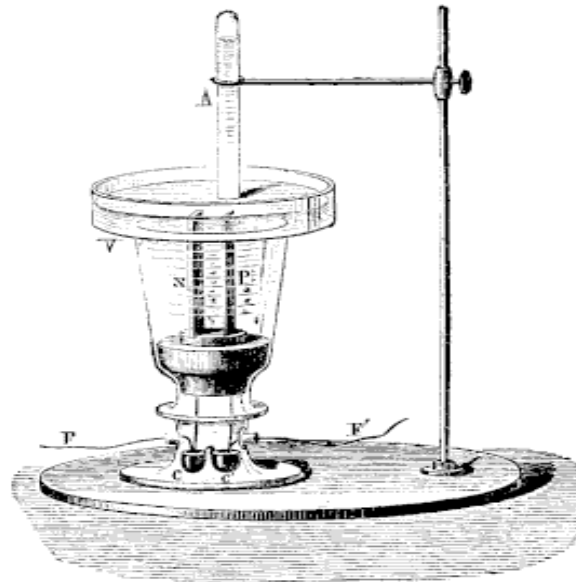
le voltamètre V' est remplacé par un tube T renfermant du chlorure d'étain qu'on maintient en fusion au moyen d'une lampe à alcool, précaution indispensable pour rendre possible le passage du courant de la pile. Ce courant pénètre dans le chlorure par le fil P, en sort par un autre fil pour traverser ensuite le voltamètre et se rendre au pôle négatif.

Lorsque l'expérience a été prolongée pendant quelque temps, le poids de l'hydrogène dégagé dans le voltamètre et celui de l'étain déposé sur le fil négatif sont dans le rapport de 1 à 59, celui de leurs équiva-

lents chimiques. Cette loi de Faraday, dite des équivalents *électrochimiques*, a été vérifiée par divers physiciens. Avec des composés très-nombreux, les expériences ont montré qu'elle est générale.

Daniell a fait voir que la loi de Faraday est applicable aux réactions intérieures de la pile aussi bien qu'au courant extérieur. — La *fig. 21*

Fig. 21.



montre l'élément de pile disposé pour recueillir l'hydrogène au pôle cuivre; si l'on interpose dans le circuit de cet élément un voltamètre ordinaire, on trouve la même quantité d'hydrogène dans l'élément et dans le voltamètre placé sur le conducteur.

INTENSITÉ DES COURANTS.

Les lois suivant lesquelles les effets du courant sont liés à ce qu'on nomme l'*intensité* furent découvertes en 1827 par Ohm et Fechner, puis confirmées quelques années plus tard par Pouillet.

Nous avons indiqué succinctement dans l'usage de la boussole de sinus une méthode directe pour déterminer l'intensité, pour exprimer numériquement les valeurs différentes qu'elle peut acquérir. Nous reviendrons sur ce point en reproduisant partiellement la leçon consacrée à ce sujet, dans le *Traité de physique* de MM. Boutan et d'Almeida.

On dit que l'intensité d'un courant est double ou triple de celle d'un autre quand le premier courant, en agissant dans les mêmes condi-

tions, est capable de produire le même effet que deux, trois courants égaux à celui qui est pris pour terme de comparaison.

Pour obtenir une graduation qui rende facile la comparaison des intensités des courants, on emploie souvent l'appareil représenté *fig. 22*. Une aiguille aimantée horizontale est suspendue par un fil au centre d'un cercle vertical de grandes dimensions qui est mobile autour d'un axe vertical VV' passant par le centre du cercle. Un limbe horizontal gradué, placé au-dessous de l'aiguille, permet de noter les déviations. Avant toute expérience le cercle vertical est amené dans le plan du méridien magnétique et l'aiguille s'arrête alors au zéro. Tout étant ainsi préparé, les deux pôles d'une pile à courant constant sont réunis par un fil F (*fig. 23*) de plusieurs mètres de longueur

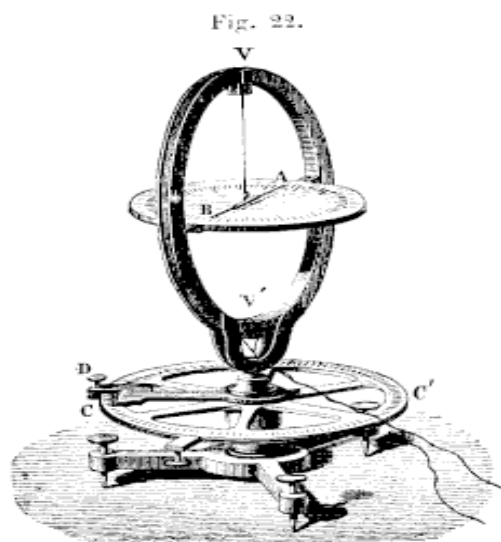
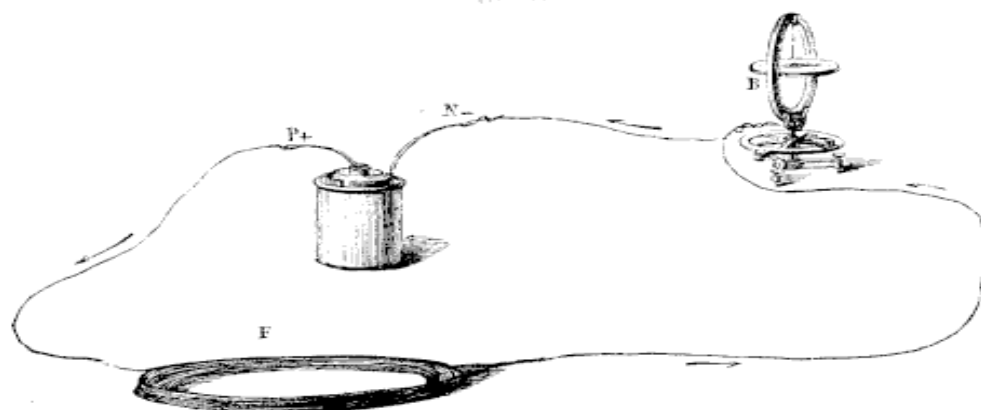


Fig. 23.



et recouvert de soie. On fait faire à ce fil un tour sur le cercle vertical, l'aiguille se dévie ; on note la déviation. On enroule ensuite le même fil deux fois sur le cercle vertical ; deux courants égaux au précédent et placés dans les mêmes positions relatives agissent sur l'aiguille. On note la nouvelle déviation qui correspond à une intensité double. De même on fait faire successivement 3, 4, 5, 6, 7 tours au fil, et l'on a des déviations indiquant des actions 3, 4, 5, 6, 7 fois plus grandes. On a ainsi le moyen de construire une table qui contient,

dans une première colonne, les intensités 1, 2, 3, etc. et dans une seconde colonne placée en regard, les déviations correspondantes.

Pour savoir le rapport qui existe entre les intensités de deux courants donnés, on enroulera autour du cercle vertical une partie du circuit dans lequel chemine le premier courant; on notera la déviation de l'aiguille. On observera en second lieu la déviation produite par l'autre courant enroulé sur le même cercle et dans les mêmes conditions. Dès lors, en consultant la table déjà construite, on évaluera facilement le rapport des intensités des deux courants.

Boussole des tangentes.

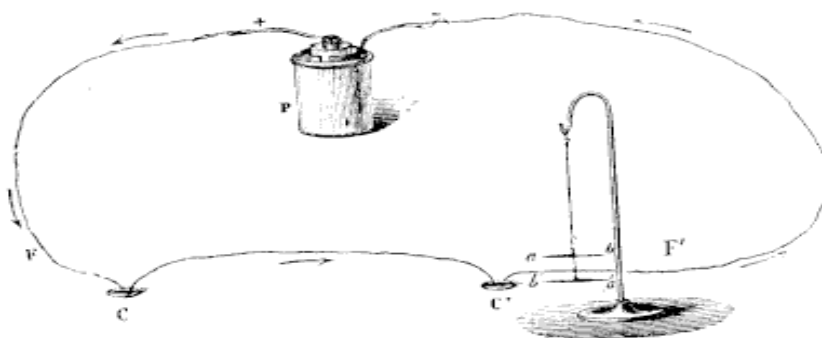
Lorsqu'on gradue l'appareil par la méthode que nous avons indiquée, si l'aiguille est très-courte et le cercle vertical d'un grand rayon, l'expérience justifie ce que le calcul indique, à savoir : que les *tangentes* trigonométriques des déviations sont à très-peu près proportionnelles aux intensités des courants. Nous supposons que l'appareil qui est entre nos mains satisfasse à ces conditions; c'est précisément celui que M. Pouillet a inventé, et qu'il a nommé *boussole des tangentes*.

Afin de pouvoir observer sans difficulté les déviations d'une aiguille aussi courte, on fixe sur elle perpendiculairement à son axe une lame de cuivre longue, très-légère, qui se déplace sur le cercle divisé et permet d'estimer les écarts angulaires de l'aiguille aimantée.

Influence des dimensions et de la nature des conducteurs.

L'énergie d'un courant diminue quand on intercale un corps dans le circuit déjà existant, ce corps fût-il même très-bon conducteur de l'électricité. Le fil métallique qui unit les deux pôles de la pile P (fig. 24) est placé en C'F', à une distance déterminée, entre les deux

Fig. 24.



aiguilles d'un système à peu près astatique ; dans ces conditions il fait subir une déviation aux aiguilles ; si l'on vient à séparer le rhéophore PF et à intercaler un fil long et fin CC' entre lui et C'F' qui est resté immobile, le nouveau courant, qui est placé à la même distance et dans la même position relativement aux aiguilles, produit une déviation moindre du système. On peut ajouter un second exemple : une pile à courant constant employée à décomposer l'eau dans un voltamètre donne par minute un volume de gaz que l'on mesure. Si l'on augmente la longueur du circuit interpolaire, en opérant comme précédemment, le volume de gaz dégagé est moindre.

L'expérience permet aussi de reconnaître que la nature des conducteurs intercalés entre C et C' a une grande importance : deux fils de même longueur et de même diamètre, mais appartenant à des métaux différents, ne diminuent pas également l'intensité du courant. Un fil de fer la réduit beaucoup plus que ne le ferait un fil d'argent de même section et de même longueur.

Au contraire, l'intensité du courant n'est pas notablement changée lorsque le conducteur ajouté est une masse métallique d'une très-petite longueur et d'une grande section. Ainsi un fil de fer de quelques centimètres de longueur et de plusieurs millimètres carrés de section, intercalé dans le circuit, ne modifie pas sensiblement l'intensité du courant fourni par un élément de Daniell. De même on peut mettre en communication directe les deux rhéophores d'une pile, en les faisant plonger à la fois dans une grande masse de mercure contenue dans une capsule, le courant ne varie pas d'intensité par suite de ce changement.

Conductibilité. — Résistance.

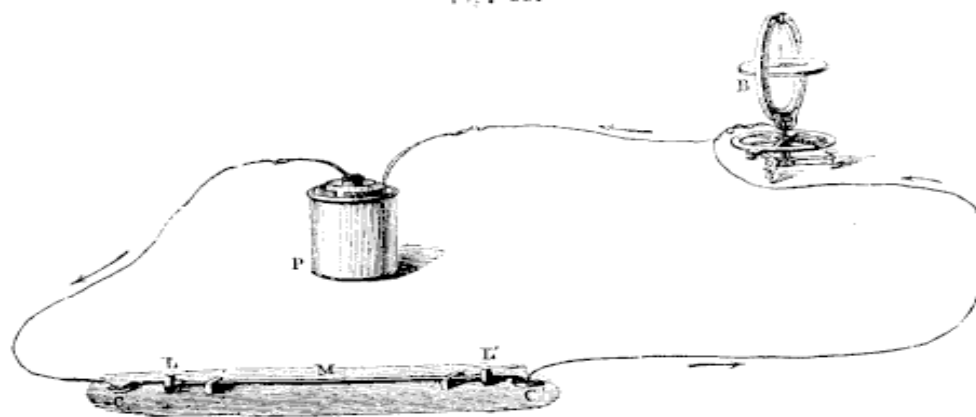
Ces expériences, en prouvant que la longueur du conducteur intercalé diminue l'intensité du courant, conduisent à considérer les corps conducteurs à un point de vue différent de celui qui les a fait regarder comme doués de la propriété de laisser cheminer l'électricité à travers leur masse, propriété qu'on désigne d'une manière générale par le mot de *conductibilité*. On peut aussi regarder les conducteurs interposés sur le trajet du courant comme des obstacles, comme des *résistances* que le courant doit surmonter pour continuer sa marche et qui nécessairement l'affaiblissent. Un corps est-il bon conducteur, sa résistance est faible : conductibilité et résistance expriment des propriétés inverses l'une de l'autre.

Ces résistances, qui diminuent l'intensité du courant, ont des valeurs qu'il importe de déterminer; car, lorsque ces valeurs seront connues, l'influence de tout conducteur traversé par un flux d'électricité pourra être facilement appréciée.

Avant tout, il faut choisir une unité de résistance qui se trouve aisément identique à elle-même. Les fils métalliques ne réalisent pas cette condition; le mercure, au contraire, est un métal très-facile à purifier; on l'a donc choisi pour représenter l'unité de résistance. Cette unité est la résistance d'une colonne de mercure, qui aurait pour longueur 1 mètre et pour section 1 millimètre carré.

Dans les expériences qui vont suivre, nous emploierons des tubes LL' (*fig. 25*) de 1 millimètre carré de section, pleins de mercure: les

Fig. 25.

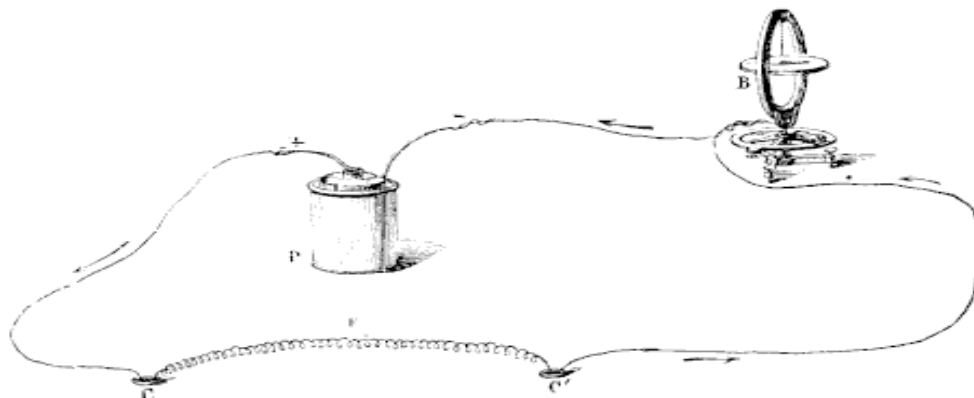


uns auront une longueur de 1 mètre; les autres de $\frac{1}{2}$ mètre, de $\frac{1}{4}$ de mètre, etc. Ils seront fermés à leurs extrémités par des garnitures en fer, auxquelles des fils de cuivre gros et courts LC, L'C' seront fixés, pour que leur résistance soit négligeable comparativement à celle de la colonne de mercure.

Pour mesurer les résistances, prenons une pile P, une boussole B et les différents conducteurs dont la résistance doit être appréciée. Le courant passe d'abord par un fil de cuivre partant du pôle positif de la pile, puis il traverse une colonne de mercure LL' de 1 mètre de longueur et 1 millimètre carré de section; ensuite il continue sa marche par un fil de cuivre qui circule autour de la boussole et il aboutit finalement au pôle négatif de la pile. On note la déviation de l'aiguille. Cette première observation faite, on substitue à la colonne de mercure un fil de fer F (*fig. 26*) de 1 millimètre

carré de section et l'on trouve que ce fil doit avoir une longueur de 6 mètres pour que l'intensité du courant demeure la même que précédemment. Si le corps conducteur qui remplace la colonne mercu-

Fig. 26.



rielle est un fil de platine de 1 millimètre carré de section, on reconnaît que ce fil doit avoir une longueur de 8 mètres pour que l'aiguille aimantée éprouve la même déviation. En continuant à opérer de la même façon, on mesure successivement les longueurs des fils formés par différents métaux, qui, à égalité de section, opposent une résistance égale au passage du même courant. Voici les nombres obtenus :

Mercure.	1
Fer.	6
Platine.	8
Cuivre.	38
Argent.	39
Or.	51
Palladium.	80

L'expérience, reprise avec une autre pile, fournit les mêmes résultats. Toujours une longueur 1 de la colonne mercurielle peut être remplacée par un fil de fer de longueur 6 ou par un fil de platine de longueur 8, etc.

On reconnaît aussi, par la même méthode, qu'un fil de fer de 1 millimètre carré de section et de 12 mètres de longueur oppose une résistance égale à 2, c'est-à-dire peut être substitué à deux colonnes de 1 mètre de mercure chacune.

On peut donc énoncer cette loi : *Les résistances sont en raison directe des longueurs.*

Puisqu'un fil de fer de 6 mètres de longueur a une résistance égale à l'unité, il résulte de la loi précédente qu'un fil de fer de 1 mètre aura une résistance égale à $1/6$. Cette résistance, opposée par un fil métallique de 1 mètre de long et de 1 millimètre carré de section, est ce que l'on appelle la *résistance spécifique* du métal. La résistance spécifique du fer sera donc $1/6$ ou 0,166; de même celle d'un fil de platine, long de 1 mètre, sera $1/8$ ou 0,125; on a calculé de cette manière les nombres inscrits dans le tableau suivant :

Résistances spécifiques :

Fer.	0,166
Platine.	0,125
Cuivre.	0,026
Argent.	0,025
Or.	0,017
Palladium.	0,016

Au lieu de prendre des fils métalliques dont la section soit 1 millimètre carré, on peut opérer avec des fils d'une section double, triple, quadruple. Un fil de fer dont la section est de 2 millimètres carrés et la longueur de 6 mètres ne peut pas remplacer l'unité de résistance comme le faisait un fil de section 1 et de même longueur; l'expérience montre que, substitué à une colonne de mercure de 1,2 mètre de longueur, il produit exactement le même effet. De même, si la section du fil devient triple, la longueur de la colonne de mercure qui sert de type doit être réduite au tiers. Ainsi : « *Les résistances varient en raison inverse des sections.* »

Les lois qui viennent d'être formulées indiquent la méthode à suivre pour évaluer numériquement les résistances, quelles qu'elles soient, des divers conducteurs dont se compose un circuit. Parmi ces conducteurs existe-t-il un fil dont la longueur soit de 4 mètres et la section de 7 millimètres carrés?

La question à résoudre pour connaître la résistance de ce fil se pose ainsi :

0,166 est la résistance d'un fil de fer de 1 mètre de longueur et de 0^m0,000001 carré de section.

Quelle sera la résistance x de 4 mètres de fil ayant une section de 0^m0,000007.

La résistance cherchée est :

$$x = \frac{0,166 \times l}{7}.$$

Et en général si l est la longueur d'un fil, s sa section, ρ sa résistance spécifique, on aura :

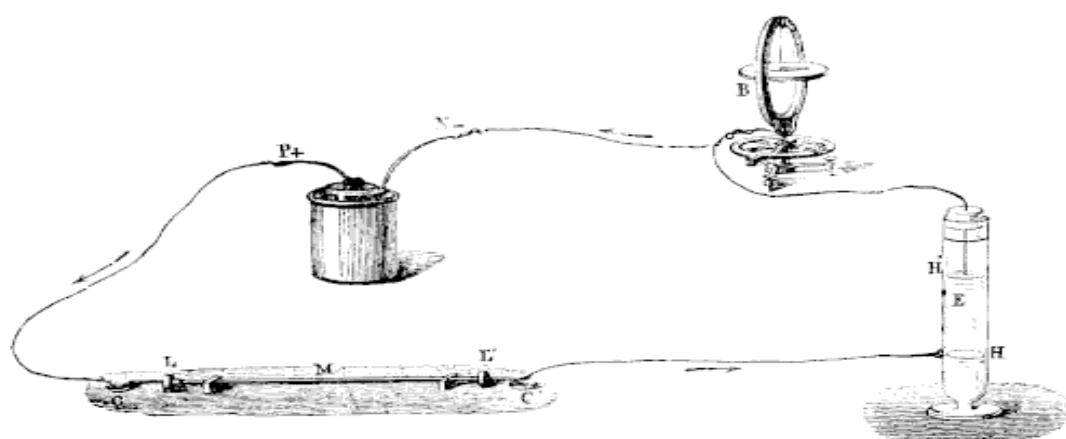
$$x = \frac{\rho \times l}{s}.$$

Cette formule exprime la longueur de la colonne de mercure de 1 millimètre carré de section dont la résistance serait la même que celle du fil conducteur mis en expérience.

Les mêmes lois s'appliquent aux *liquides* et la même méthode d'expérimentation peut être employée pour évaluer leurs résistances. Toutefois il faut prendre certaines précautions à cause des phénomènes électrolytiques qui ont lieu aux points où les liquides sont en communication avec les électrodes.

On introduit d'avance dans le circuit le liquide, par exemple une dissolution de sulfate de cuivre; ce liquide est renfermé dans une éprouvette cylindrique E (*fig. 27*) au fond de laquelle se trouve une

Fig. 27.



lame métallique horizontale H de section égale à celle de l'éprouvette. La lame H est formée avec un métal convenable pour que la dissolution ne soit pas altérée par suite des phénomènes électrolytiques; dans le cas actuel, on emploiera une lame de cuivre. Vis-à-vis de cette lame on en place une seconde H' dont les dimensions sont

les mêmes et qui occupe comme la première toute la largeur de l'éprouvette. L'expérience est disposée de telle sorte que le courant traverse successivement la colonne de mercure, le liquide à étudier et la boussole des tangentes. L'aiguille de la boussole indique une déviation; on enlève du circuit la colonne de mercure, la déviation augmente, on la ramène à ce qu'elle était primitivement en écartant les lames qui se trouvent dans le liquide; l'éprouvette a-t-elle une section de 30 centimètres carrés et contient-elle une dissolution saturée de sulfate de cuivre, les plaques doivent être éloignées de 0^m,01 pour que le courant reprenne la même intensité après que la résistance a été enlevée. La section de l'éprouvette est-elle de 45 centimètres carrés, l'éloignement des plaques doit être le même pour représenter une résistance égale à 2. Ces expériences donnent les lois déjà trouvées pour les métaux, elles peuvent servir à calculer la résistance spécifique d'un liquide quelconque et lorsque celle-ci est connue, il est aisé d'en déduire la résistance d'une colonne de ce liquide de dimensions données.

Par exemple pour la dissolution saturée de sulfate de cuivre, une colonne de cette dissolution ayant 30 centimètres carrés ou 3000 millimètres carrés de section et 0^m,01 de longueur a pour résistance 1, c'est ce que l'expérience vient de nous donner.

D'après cela une colonne de 1 millimètre carré de section et de 1 mètre de longueur aura pour résistance :

$$\rho = \frac{3000}{0,01} = 300\,000.$$

La résistance spécifique du sulfate de cuivre en dissolution est donc 300 000 fois celle du mercure; celle des autres dissolutions salines est du reste du même ordre de grandeur.

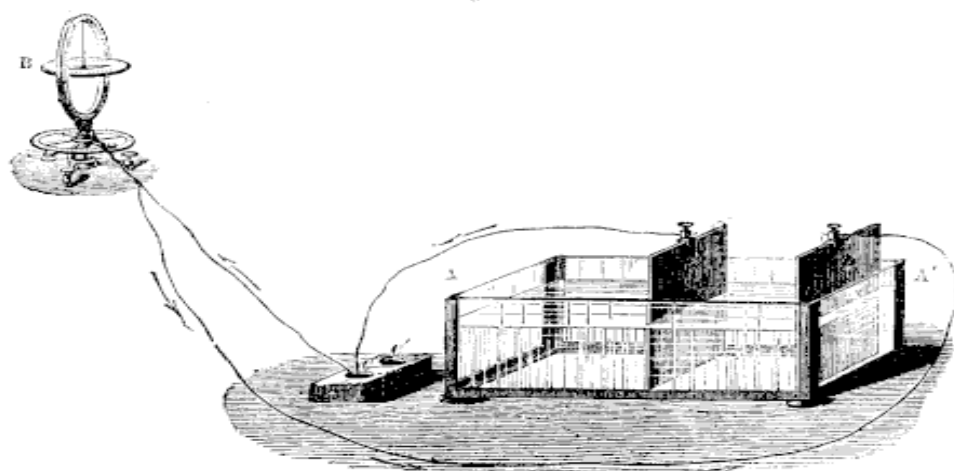
Loi de Ohm.

L'intensité du courant donné par un élément de pile varie en raison inverse de la somme des résistances qui composent le circuit. On doit comprendre dans cette somme tout aussi bien les résistances intérieures opposées par les liquides qui entrent dans la constitution de l'élément que les résistances extérieures des conducteurs interpolaires.

Voici une méthode qui permet de comprendre comment on peut vérifier cette loi découverte par Ohm. Une auge rectangulaire AA'

(fig. 28) contenant de l'acide sulfurique étendu d'eau, reçoit deux lames rectangulaires verticales et parallèles, l'une de zinc amalgamé

Fig. 28.



Z dont la surface est presque égale à la section de l'auge, l'autre d'argent platiné P qui a les mêmes dimensions que la première. Le courant de cette pile passe par un fil de cuivre PC qui plonge dans une capsule pleine de mercure C; il s'enroule ensuite sur la boussole des tangentes B et aboutit finalement au pôle négatif de la pile. L'aiguille aimantée est déviée et la déviation produite mesure l'intensité du courant. On écarte alors les deux lames de manière que leur distance soit par exemple triplée, on allonge le fil de cuivre de telle sorte que sa longueur soit aussi rendue trois fois plus grande : évidemment la somme des résistances intérieures et extérieures de la pile est devenue triple. On regarde l'aiguille aimantée, et la déviation qu'elle accuse fait voir que l'intensité du courant est réduite au tiers, ce qui démontre la loi énoncée.

Si donc on appelle E l'intensité du courant qui serait produit si la somme des résistances tant intérieures qu'extérieures avait pour valeur totale l'unité, quand la résistance totale deviendra R on aura l'intensité I du nouveau courant : $I = \frac{E}{R}$; et si l'on exprime l'ensemble des résistances par deux termes, l'un R qui donne la mesure de la résistance intérieure de la pile, l'autre r qui représente la résistance extérieure, la formule devient :

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

Force électromotrice.

Avant d'appliquer cette formule, il importe de bien comprendre la signification de toutes les quantités qu'elle renferme. Déjà nous avons indiqué le sens que l'on doit attribuer à I , R , et r , mais la quantité E qui vient de s'introduire à l'instant est d'une nouvelle espèce; examinons la signification qu'elle a. Elle ne dépend aucunement des résistances extérieures, car toutes ces résistances ont été introduites dans le terme r ; elle est indépendante aussi de la résistance du liquide intérieur de la pile, car cette résistance se trouve comprise dans le terme R . Si l'on écarte les lames qui constituent l'élément, R change, mais E reste invariable; si l'on enlève une portion du liquide de l'auge, de sorte que les métaux ne plongent plus que d'une petite quantité dans ce liquide, R augmente, mais E ne change pas. Avec un élément très-petit ou très-grand E est toujours le même, pourvu que la nature des métaux et des liquides qui le constituent ne varie pas. Mais cette quantité E , qui est égale à l'intensité du courant de la pile, dans le cas où la somme des résistances est égale à l'unité, prend une valeur toute différente quand on fait varier ou les métaux ou les liquides, en un mot, quand l'arrangement voltaïque est modifié. Elle dépend essentiellement de la nature de l'élément, elle représente la puissance que chaque combinaison voltaïque de nature particulière manifeste lorsque les obstacles opposés par chaque circuit sont les mêmes; on l'a appelée *force électromotrice*.

Réunion de plusieurs éléments.

Nous allons étendre la théorie au cas où la pile est constituée avec un nombre quelconque d'éléments, par exemple quatre éléments Daniell égaux et disposés en *série*, c'est-à-dire tels que le cuivre de l'un communique avec le zinc de celui qui le suit, et cela d'un bout de la pile à l'autre, les pôles de cette pile étant réunis par un conducteur de résistance r .

Appelons E et R la force électromotrice et la résistance de chaque couple. On reconnaît d'abord que la résistance totale du circuit se compose de $4R$, résistance des quatre éléments, augmentée de r la résistance extérieure. Le premier élément seul donnerait donc en traversant un pareil circuit un courant d'intensité $I = \frac{E}{4R + r}$; le

second donnerait un courant de même intensité et ainsi des autres ; ces quatre courants, qui marchent dans le même circuit, étant de même sens s'ajoutent, et l'on a pour l'intensité totale :

$$I = \frac{4 E}{4 R + r}.$$

En général l'intensité du courant fourni par n éléments serait donnée par la formule $I = \frac{n E}{n R + r}$.

Cette formule générale renferme la solution de toutes les questions qui se présentent dans l'emploi de la pile ; elle permet de prévoir pour chaque disposition adoptée l'intensité du courant qui parcourra un circuit fermé.

Voici les cas les plus intéressants :

1^o Une pile est employée à faire passer un courant à travers un fil intermédiaire de *faible* résistance : on veut, par exemple, en répétant l'expérience d'Oerstedt, obtenir les effets les plus intenses ; et l'on se demande quel avantage il y aura à employer un grand nombre d'éléments. La résistance extérieure r offerte par les fils conjonctifs étant égale à 1, celle de chaque élément de la pile sera représentée par un chiffre élevé tel que 100. Employons d'abord un seul élément, l'intensité du courant sera donnée par l'égalité :

$$I_1 = \frac{E}{100 + 1}.$$

Avec deux éléments, l'intensité du courant deviendra :

$$I_2 = \frac{2 E}{200 + 1} = \frac{E}{100 + \frac{1}{2}}.$$

Si l'on se sert de trois éléments, on aura :

$$I_3 = \frac{E}{100 + \frac{1}{3}} \text{ etc. ;}$$

ce qui signifie que dans un cas pareil l'intensité du courant conserve sensiblement la même valeur $\frac{E}{100}$, quel que soit le nombre des éléments, et que l'on ne gagnera rien ou presque rien à aug-

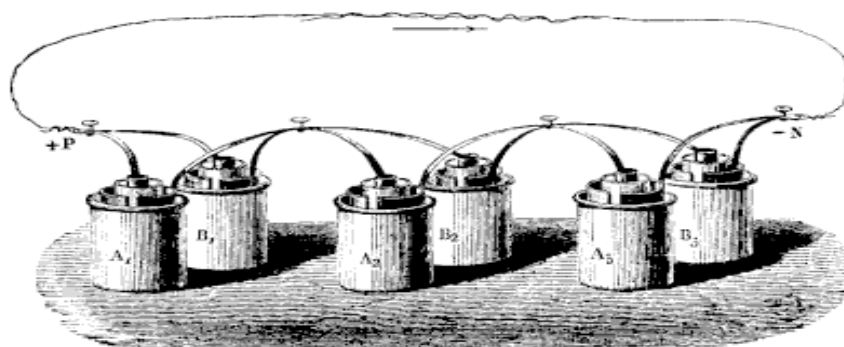
menter ce nombre, du moins tant que la disposition en série sera adoptée; la dépense sera donc faite sans profit, car un seul élément donnerait sensiblement les mêmes résultats.

Pour savoir si quelque disposition particulière ne rendrait pas plus considérable l'effet qu'on veut obtenir, étudions la formule. Elle montre qu'on atteindra ce but en diminuant la résistance R de l'élément; or deux moyens se présentent, et tous deux réussissent. On peut diminuer la longueur du conducteur ou augmenter la section. A l'intérieur d'une pile, le premier procédé sera réalisé par le rapprochement des lames, le second par l'agrandissement des surfaces. Prenons donc un élément tel que chaque lame plongée dans le liquide intérieur ait une surface double; la résistance sera réduite à 50 et l'intensité du courant presque doublée. Sans rien changer aux surfaces plongées, rendons moitié moindre la distance qui les sépare, la résistance intérieure sera réduite à moitié et le courant deviendra encore deux fois plus intense.

Des éléments, quelque petits qu'ils soient, peuvent par un mode de groupement convenable former des éléments à grande surface. Il suffit de les réunir entre eux par les pôles de même nom, c'est-à-dire dans le cas où l'on se sert d'éléments de Bunsen : charbon avec charbon et zinc avec zinc.

Lorsque deux éléments sont unis de cette manière, ils constituent un élément de surface double et la résistance intérieure est réduite à moitié. En effet, complétons le circuit par un fil métallique, le courant circulera à la fois par les deux éléments; il n'aura pas les deux résistances successives à surmonter, mais seulement une résistance moitié moindre $\frac{R}{2}$. Quant à la force électromotrice, elle sera celle qu'aurait un élément double en surface, c'est-à-dire toujours

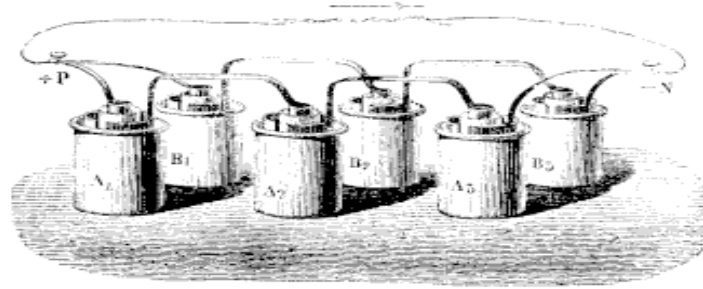
Fig. 29.



demeurée égale à E ; et si la résistance extérieure est faible, l'intensité du courant sera doublée par cette association.

La *fig. 29* représente six éléments unis deux à deux, de manière à former une pile de trois éléments de surface double. La *fig. 30*

Fig. 30.



montre une disposition équivalente, mais plus commode dans la pratique. La pile ainsi montée est dite en *batterie*.

2° Si la résistance extérieure r est considérable, par exemple si R est égal à 100 et r à 100 000, comme dans le cas où le courant doit traverser des fils très-longs et très-fins ou de longues colonnes de liquide, on trouve pour l'intensité, avec un élément :

$$I_1 = \frac{E}{100 + 100\,000} ;$$

avec deux éléments :

$$I_2 = \frac{2E}{200 + 100\,000} = \frac{E}{100 + 50\,000} = \frac{E}{50\,100}, \text{ etc.}$$

Le résultat est tout différent de celui qui a été trouvé précédemment. Le dénominateur de I_2 est presque moitié de celui de I_1 ; ainsi avec deux éléments l'intensité du courant est presque doublée. Dans ce cas particulier il y aura donc avantage à augmenter le nombre des éléments qu'on disposera en série.

Il n'y aurait aucun avantage à disposer les éléments en batterie, car alors deux éléments ne forment qu'un élément à surface double dont la force électromotrice est E seulement, et dont la résistance moitié moindre est égale à $\frac{R}{2}$ ou 50, et la valeur de I_2 correspon-

dante à ce cas est :

$$V_2 = \frac{E}{50 + 100\,000},$$

valeur à peine différente de celle de I_1 .

Choix d'un galvanomètre.

La qualité d'un galvanomètre est toute relative; elle dépend essentiellement des résistances opposées par les autres parties du circuit et l'on peut l'apprécier au moyen des lois des courants. Si le fil qui s'enroule sur un galvanomètre est tel que chacune de ses circonvolutions oppose une résistance r' tout à fait négligeable par rapport à la somme $R + r$ des autres résistances du circuit, l'intensité du courant n'est pas sensiblement modifiée par l'introduction de ce galvanomètre : l'action exercée sur les aiguilles grandit avec le nombre de tours que décrit le fil et l'instrument mérite son nom de multiplicateur. Ces conditions se trouvent réalisées lorsque le courant provient d'une pile voltaïque dont les éléments sont de petites dimensions.

Mais dans le cas où r' serait très-grand par rapport à $R + r$, le galvanomètre devrait être abandonné, car la résistance qu'il opposerait réduirait l'intensité du courant sans compensation. Il serait préférable de faire agir tel quel le circuit primitif, ne dût-il passer qu'une seule fois entre les aiguilles astatiques.

CHAPITRE II.

PRINCIPE DES APPLICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES.

Dès que la découverte de l'électricité *dynamique*, œuvre commune de Galvani et de Volta, eut reçu la notoriété, les essais de transmission de la pensée à distance recommencèrent.

A plusieurs reprises déjà, avec les seules données de l'électricité statique acquises pendant le XVIII^e siècle, des inventeurs avaient eu la hardiesse de poser le problème et d'indiquer des solutions. La télégraphie électrique ne commença réellement qu'avec l'ère de la pile.

Dans le chapitre suivant, nous indiquerons les essais faits par Sömmering, Ampère, Gauss et Weber pour utiliser les effets chimiques et mécaniques du courant. Le télégraphe électrique tel qu'il fonctionne aujourd'hui a puisé à d'autres sources ses principes. Avant d'entrer dans une description technique, il nous faut encore expliquer quelques faits physiques.

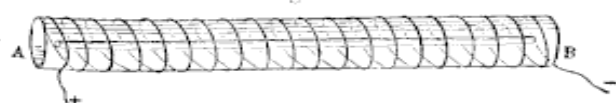
AIMANTATION PAR LES COURANTS.

Après l'expérience d'Oerstedt, Arago vérifia que l'action du courant sur le fer donne lieu à un phénomène spécial : une spirale de cuivre dont les extrémités sont en contact avec les deux pôles d'une pile, attire la limaille de fer qu'on dépose autour d'elle. Arago reconnut aussi que, si l'on place perpendiculairement au fil traversé par un courant une aiguille d'acier non aimantée, il se forme un pôle *austral* à la gauche du courant; la position relative est celle qui résulte de la loi d'Ampère dans l'expérience d'Oerstedt.

Ampère eut l'idée d'appliquer la théorie du *multiplicateur*; il en-

roula un fil en hélice sur un tube de verre creux (*fig. 31*) au milieu

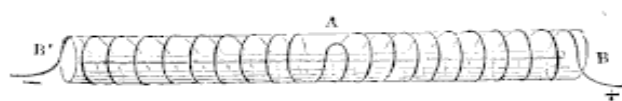
Fig. 31.



duquel il plaça une aiguille aimantée : il vérifia ainsi l'expérience d'Arago avec des courants de moyenne énergie.

Il remarqua ensuite que l'on pouvait à volonté produire des points conséquents, c'est-à-dire des changements de pôle dans l'aiguille, en modifiant alternativement le sens de l'enroulement de l'hélice sur le cylindre. La *fig. 32*, par

Fig. 32.



exemple, montre une hélice disposée pour produire un point conséquent au milieu A de l'aiguille. Le courant qui entre par B tourne d'abord

sa gauche vers A, puis en A il change de sens, sa gauche est placée en sens inverse et par suite tournée encore vers A. L'expérience montre qu'il s'établit un pôle boréal à chaque extrémité de l'aiguille et au milieu un pôle austral.

Si l'on introduit un morceau de fer doux à l'intérieur d'une hélice traversée par le courant, le fer acquiert la polarité magnétique comme l'acier. Mais ce qui est caractéristique, l'aimantation ne persiste que pendant la durée du passage du courant, à moins toutefois que le fer ne soit un peu acideux; dans ce cas il conserve ce qu'on nomme du *magnétisme rémanent*.

Cette propriété du fer doux sert à construire les *électro-aimants* : le fil de cuivre, revêtu de soie pour isoler les diverses spires de l'hélice, est enroulé directement sur le barreau de fer auquel on donne en général une forme dite en fer à cheval. Le barreau est assez souvent formé de trois pièces distinctes; l'une d'entre elles, rectiligne et transversale, réunit les deux branches parallèles autour desquelles est enroulé le fil de façon à former une hélice continue ayant le même sens sur chaque branche. On a ainsi un pôle distinct à l'extrémité de chacun des barreaux.

Les *fig. 33* et *34* représentent les deux types usuels d'électro-aimants; on remarque dans tous les deux que les deux pôles sont réunis par une armature. Dans la *fig. 33*, l'armature porte des poids qui cessent d'être soulevés dès qu'on interrompt le courant.

Fig. 33.

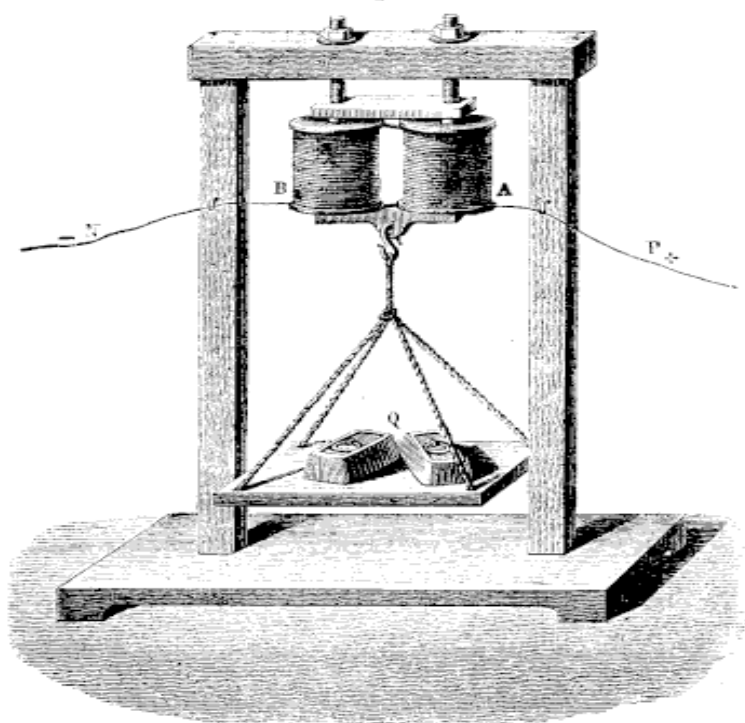
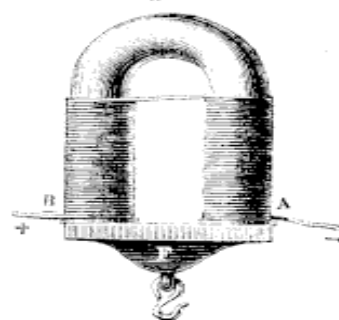


Fig. 34.



LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE.

Le courant électrique n'est pas un moteur industriel, il n'a pas la force nécessaire pour vaincre des résistances puissantes. En revanche il se transmet presque instantanément aux plus grandes distances, et lorsqu'on l'emploie dans une machine à déclancher les organes qui laissent agir le moteur propre, il est capable de produire des effets surprenants.

Pour emprunter une comparaison vulgaire, si l'on se reporte à la machine humaine composée de nerfs et de muscles (ceux-là commandant ceux-ci qui sont les véritables artisans), on reconnaîtra que le rôle de l'électricité dans l'application sera de remplir ordinairement la fonction des nerfs.

Ceci posé, entrons dans notre sujet, le télégraphe électrique.

Un télégraphe électrique complet comprend : 1° une pile; 2° des fils métalliques reliant les deux stations; 3° un appareil récepteur des signaux; 4° un manipulateur pour l'émission des signaux au départ.

Le récepteur, dans sa forme ordinaire pour les appareils usuels, se compose d'un électro-aimant E (*fig. 35*) et d'une armature de fer

Fig. 35.



doux A maintenue par un ressort antagoniste R à une petite distance des pôles de l'électro-aimant. A la station de départ est installée une pile P dont le courant peut être conduit par les fils PF et PF' jusqu'à l'électro-aimant placé à la station d'arrivée.

Si le courant passe, l'armature est attirée et tend le ressort. Si l'on produit au départ des alternatives d'interruption et d'émission du courant au moyen du manipulateur, l'aimantation cesse, puis recommence en suivant les mêmes phases que le courant. Le ressort agissant pour ramener l'armature pendant les périodes d'interruption, on a ainsi le moyen de donner à l'armature un mouvement alternatif cadencé en durée et en nombre, dont on peut tirer des signaux appartenant aux systèmes les plus variés, ainsi que nous le verrons dans la suite.

CHAPITRE III.

HISTORIQUE.

PREMIERS ESSAIS.

Avant la découverte du galvanisme, on a souvent proposé des procédés de télégraphie en cherchant à utiliser l'électricité obtenue par le frottement. Le premier nom à citer est celui de *Lesage*. Il installa en 1774, à Genève, un télégraphe électrique composé de vingt-quatre fils métalliques isolés les uns des autres. Chaque fil correspondait avec un électromètre distinct consistant en une balle de sureau suspendue à un fil. Chaque balle représentait une lettre de l'alphabet; mise en mouvement par une machine électrique, quand la communication était établie avec le conducteur propre, elle indiquait la lettre en vue.

Mais il est inutile de s'arrêter à ces essais : ce n'est qu'avec la découverte de *Galvani* et de *Volta* qu'on put concevoir l'espoir d'un établissement définitif de la télégraphie; cette conquête fut assurée après *Oerstedt*.

Toutefois, avant la découverte d'*Oerstedt*, en 1808, *Sommering*, de Munich, avait utilisé la décomposition de l'eau par la pile. Vingt-sept fils de laiton isolés étaient réunis dans un câble long de 1000 pieds; ils devaient représenter les vingt-cinq lettres de l'alphabet, le point et le signe de répétition. A une de leurs extrémités, ils étaient réunis à vingt-sept styles d'or formant les électrodes d'un voltamètre; à l'autre extrémité, les fils se fixaient à des chevilles disposées sur une planchette. Pour correspondre, il suffisait d'envoyer par deux chevilles le courant d'une pile à colonne.

Peu de temps après *Oerstedt*, on proposa de divers côtés d'appli-

quer l'électromagnétisme à la télégraphie. Ces projets nouveaux se rattachaient en partie à l'idée de Sömmering. Cependant, quand il s'agit de nommer l'inventeur du télégraphe électromagnétique, on est très-embarrassé. Cet inventeur est-il celui qui le premier émit l'idée d'une télégraphie fondée sur le principe d'Oerstedt? Alors c'est *Ampère* qu'il faut nommer. Est-ce celui qui le premier proposa un télégraphe dont la réalisation ne fût pas empêchée par la crainte des difficultés d'exécution? Nous nommerons le baron russe *Schilling*. L'inventeur est-il enfin celui qui le premier a exécuté et employé, pour une transmission rapide de la pensée, un semblable télégraphe? Cet honneur revient aux professeurs de Göttingue *Gauss* et *Weber*.

La proposition d'*Ampère* est ainsi formulée dans les *Annales de physique et de chimie* (1820) :

« On pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, établir à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités à celles de chaque conducteur, former une sorte de *télégraphe* propre à écrire tous les détails qu'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce soit, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec facilité, et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre. »

Cette proposition n'eut pas plus de succès que celle de Sömmering; pour l'une comme pour l'autre, la complication de la communication fut le principal obstacle à la réalisation.

Schilling eut le premier l'idée qu'il n'était pas indispensable d'avoir autant de conducteurs que de signes, et il montra qu'avec un seul multiplicateur on pouvait transmettre un grand nombre de signaux en combinant convenablement les déviations de l'aiguille aimantée qui pouvaient être produites tantôt à droite, tantôt à gauche, de manière à représenter des signes conventionnels. Bien que le premier essai fait en Russie eût été encouragé par le souverain, *Schilling* ne put réussir à appliquer son système.

Nous arrivons aux résultats pratiques. Si nous parcourons la série des appareils proposés, nous trouvons qu'ils se réduisent d'abord à

deux grandes divisions : les types électromagnétiques et les types électrochimiques. Dans la première division il faut de nouveau distinguer quatre genres, de sorte que dans l'ensemble il y a cinq sortes d'appareils essentiellement distincts.

Nous indiquerons donc :

- | | | |
|-------------------------------|---|----------------------|
| 1° Les télégraphes à aiguille | } | électromagnétiques ; |
| 2° Les télégraphes à cadran | | |
| 3° Les télégraphes écrivants | | |
| 4° Les télégraphes imprimants | | |
| 5° Les télégraphes chimiques. | | |

Les deux premiers genres comprennent les télégraphes primitifs (*).

TÉLÉGRAPHE DE GAUSS ET DE WEBER.

Gauss et *Weber* réussirent les premiers, en 1833, à installer un télégraphe électromagnétique, qu'eux-mêmes ils utilisèrent pratiquement. Dans un mémoire de ces savants sur les observations magnétiques, on lit :

« Avec ces dispositions il y a une application grandiose et jusqu'ici unique dans son genre, laquelle est due à M. le professeur *Weber*. Dès l'année précédente, ce savant, de son cabinet de physique et par-dessus les maisons de la ville jusqu'à l'Observatoire, a établi une double communication par des fils métalliques, actuellement continuée depuis l'Observatoire astronomique jusqu'à l'Observatoire magnétique. Cela constitue une grande chaîne dans laquelle le courant galvanique, y compris les multiplicateurs des deux extrémités, doit parcourir une longueur de fil conducteur d'environ 9000 pieds (2826 mètres). Le fil de communication est en majeure partie de cuivre, qui dans le commerce porte le n° 3, et dont une longueur d'un mètre pèse 8 grammes. Le fil du multiplicateur, à l'Observatoire magnétique, est un fil de cuivre argenté n° 14, dont 1 gramme a 2^m,6 de long. Cette application comporte une quantité d'expériences intéressantes : ce n'est pas sans admiration que l'on

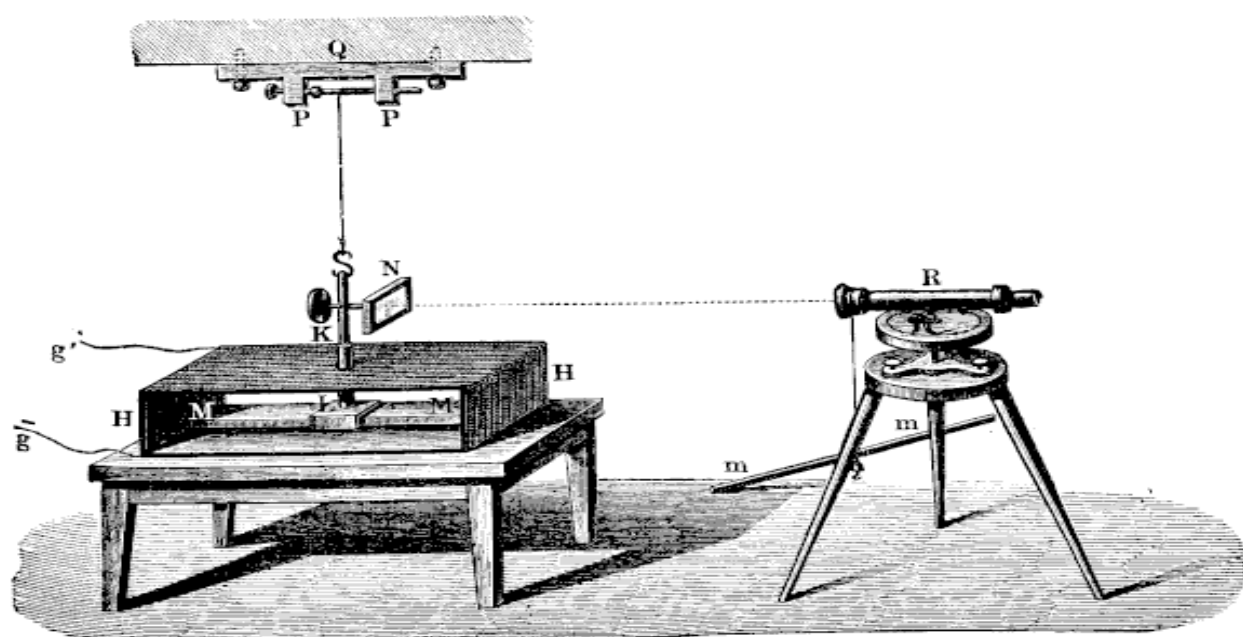
(*) Consulter à ce sujet l'ouvrage « *Die Anwendung des Electromagnetismus* » de J. Dub. Berlin, 1873.

fait la remarque qu'une paire unique de lames, introduite à l'autre extrémité, communique instantanément un mouvement à l'aiguille aimantée, affectant une déviation de plus de 4000 subdivisions de l'échelle, etc... La facilité et la sûreté avec lesquelles, au moyen du commutateur, on gouverne la direction du courant et le mouvement de l'aiguille dépendant de ce courant, donnèrent déjà, il y a un an, l'occasion de faire des essais d'une application à la transmission télégraphique des signaux, application qui réussit parfaitement à former des mots et des phrases entières. Il n'y a nul doute quant à la possibilité d'une installation de communication télégraphique d'une manière analogue entre deux points éloignés l'un de l'autre, d'un nombre considérable de milles. »

Nous passons à la description de l'appareil télégraphique. Les signes sont obtenus au moyen d'un galvanomètre entouré d'un circuit de fil en forme de multiplicateur; le courant transmis est produit par une action électromagnétique.

La *boussole*, représentée *fig. 36*, se compose d'un barreau ai-

Fig. 36.

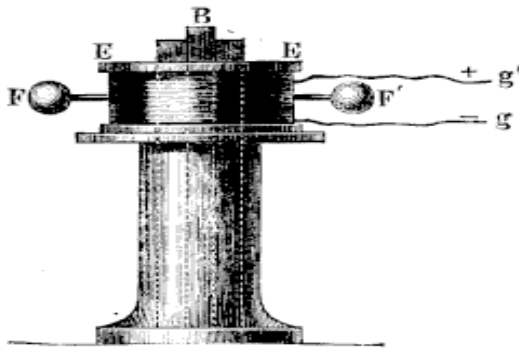


manté suspendu à un fil de 10 à 12 pouces de long et portant à son extrémité un support auquel est fixé le miroir sur lequel, au moyen d'une lunette et d'une échelle graduée, sont observées les déviations;

le barreau aimanté est entouré du circuit multiplicateur, de façon à osciller dans ce circuit. Si à travers les spires on envoie un courant électrique instantané, le barreau dévie brusquement et revient à la position de repos. Si l'on désigne par le signe $+$ les déviations à l'ouest, et par le signe $-$ les déviations dans le sens contraire, on peut produire un nombre arbitraire de déviations *plus* ou *moins*, réalisant un grand nombre de combinaisons avec lesquelles on transmet tous les signaux voulus.

Pour produire les déviations, *Gauss* et *Weber* se servirent de l'in-

Fig. 37.



installation suivante. Un fort aimant (*fig. 37*), pesant 25 livres, est placé sur un socle; sur cet aimant glisse un châssis muni de deux anses. Autour du châssis sont enroulés des fils de cuivre isolés de manière à former une bobine; celle-ci peut être transportée le long du barreau aimanté. Les deux extrémités du fil sont reliées par la ligne au

multiplicateur. Lorsqu'on déplace la bobine pour la porter rapidement du milieu à l'extrémité du barreau, un courant se développe. L'action est immédiatement arrêtée par le courant contraire développé par le retour à la première position médiane, et le galvanomètre revient à la position du repos. Si au contraire, après le premier mouvement, on s'arrête un moment jusqu'à ce que la déviation du galvanomètre ait pu être notée, et si l'on fait ensuite un mouvement en sens opposé, on détermine une déviation contraire au galvanomètre. Ainsi, il est possible d'obtenir un grand nombre de mouvements successifs de l'aiguille ou du galvanomètre et de diversifier *ad libitum* le nombre de ces mouvements.

TÉLÉGRAPHE DE STEINHEIL.

Encouragé par *Gauss*, *Steinheil* a entrepris de compléter le télégraphe de son maître. Son appareil se compose de trois parties essentielles :

1° Celle qui produit le courant :

2° Celle qui traduit les signaux;

3° La communication.

Le courant nécessaire à la transmission télégraphique est produit par une machine électromagnétique : l'aimant en acier dans l'appareil inducteur consiste en 17 fers à cheval et pèse 60 livres; il supporte 300 livres. Sur les pôles de cet aimant peuvent se mouvoir deux bobines ou fuseaux d'induction multiplicateurs, ayant ensemble 15 000 spires de fil conducteur dont le mètre pèse 1^{er},053. Le changement de sens du courant est établi au moyen de tiges plongeant dans le mercure et formant ressorts, de telle sorte que tournant dans une direction, elles donnent un courant continu dans le même sens. Mais comme le courant excité doit être instantané, la communication des ressorts glisseurs n'existe que là où la force produite est à son maximum.

Pour établir la communication du courant, *Steinheil* donne une forme spéciale aux lames conductrices auxquelles sont reliés les fils qui viennent de la station voisine. Ces lames sont recourbées à droite et à gauche, et se trouvent à leurs extrémités en contact avec les tiges qui terminent les extrémités des bobines; dans toutes les autres situations de l'inducteur, celui-ci est en dehors de la ligne.

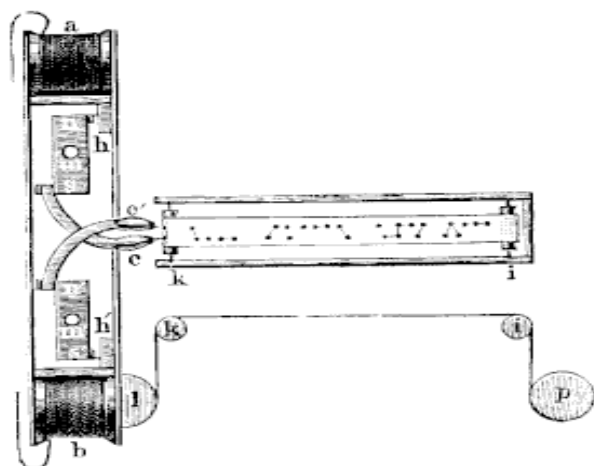
Cet isolement n'a pas seulement la destination indiquée plus haut, il produit cet autre effet qu'à la station correspondante les signaux ne passent pas par les fils des fuseaux inducteurs. Le courant de cette station est conduit par d'autres tiges formant avec les ressorts de contact des bobines un angle de 90°. Pour faciliter le mouvement de l'inducteur, on y ajoute un balancier horizontal terminé aux deux extrémités par des boules.

Nous arrivons à la description du récepteur. Le courant déterminé par l'inducteur sert à faire dévier, à la station qui reçoit les signaux, deux aimants pouvant tourner facilement sous l'influence d'un multiplicateur. Ces aimants pivotent sur des axes verticaux et portent aux extrémités contiguës des baguettes en laiton qui servent soit à frapper un timbre, soit à fixer une écriture constituée de points. Si le fil multiplicateur est parcouru par un courant, les deux petites barres aimantées tendent à se mouvoir dans le même sens hors de la direction des contours, de sorte que l'un des crayons ou styles tend à avancer et l'autre à reculer. Pour empêcher ce dernier mouvement, les deux autres extrémités des aimants sont appliquées contre

deux plaques qui rendent impossible le recul des aimants et des crayons.

Les deux indicateurs de signaux peuvent donc servir à frapper des timbres et à faire des points. Dans ce dernier cas, une bande

Fig. 38.



de papier se meut uniformément devant les becs de ces indicateurs; le papier-bande s'enroule par un mouvement d'horlogerie sur deux cylindres. On voit par la *fig. 38*, qu'au moyen des deux index il est possible de faire des points sur deux rangées: ces points ne sont pas produits simultanément. Steinheil forma un alphabet, pour lequel il faut quatre points au plus par lettre; en voici un spécimen :

...	...	.	.	...	...					
A	B	D	E	F	G	H	.	.	.	.
...	...									
1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Au moyen de trente signaux, les messages peuvent être transmis à une assez grande vitesse; il faut, pour 92 mots, un quart d'heure.

Dans le premier télégraphe de *Steinheil*, l'excitateur du courant était relié à l'indicateur des signaux au moyen de deux fils aériens. La communication se composait de trois parties: l'une allait de l'Académie royale à l'Observatoire astronomique de Bogenhausen et revenait au point de départ. Le fil conducteur avait un développement de 9577 mètres, le fil de cuivre employé pesait 210 livres. Les deux fils aller et retour étaient tendus au-dessus des toits des maisons à une distance de 3 à 10 pouces, les plus grandes longueurs d'un support à l'autre étaient de 376 mètres. Sur les longueurs où ne se rencontrait aucune maison, le fil conducteur était supporté par des poteaux enfoncés en terre à 5 pieds de profondeur et hauts de 40 à 50 pieds. Un croisillon fixé à chaque poteau retenait les fils; aux points d'attache se trouvait du fentre, et le fil était simplement

enroulé plusieurs fois autour du bois. La distance entre deux poteaux était de 600 à 800 pieds. Une seconde portion de la communication conduisait depuis l'Académie jusqu'à l'habitation de Steinheil et à l'Observatoire astronomique de Lerchenstrasse. Elle se composait de fil de fer dont l'aller et le retour comportaient 6000 pieds de développement. La troisième portion enfin pénétrait dans l'intérieur de l'édifice de l'Académie jusqu'au laboratoire du Cabinet de physique, et consistait en un fil de cuivre de 1000 pieds de longueur.

Ce télégraphe, installé en 1837, est le premier qui, construit d'après les données des professeurs de Göttingue, puisse être cité au point de vue de l'utilité pratique.

Peu de temps après l'exécution de cet appareil, Steinheil facilita la réalisation de la télégraphie par l'importante découverte que *la terre pouvait remplacer l'un des fils conducteurs*, ce qui rendit possible l'établissement de la correspondance au moyen d'un seul fil.

TÉLÉGRAPHES DE WHEATSTONE ET COOKE.

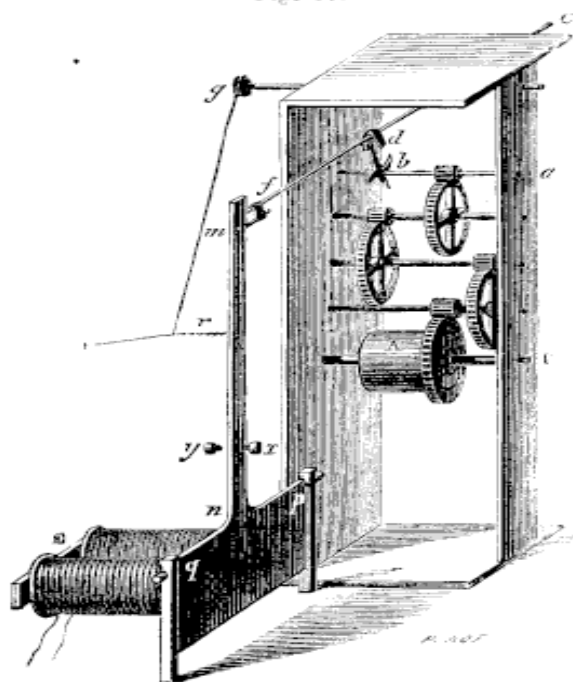
En même temps que Steinheil, *Wheatstone* et *Cooke* exécutaient un télégraphe produisant des signaux au moyen de multiplicateurs. Déjà *Cooke* avait établi sur le chemin de fer d'Édimbourg à Glasgow un télégraphe à *une* aiguille pour la simple désignation d'*aller* et de *retour*. Le télégraphe des deux associés se composait de *cinq* conducteurs et de *cinq* aiguilles, dont les mouvements, combinés deux à deux ou trois à trois, produisaient environ trente signaux différents. Au fond cet appareil était la réalisation de la disposition proposée par Ampère, mais très-heureusement modifiée et simplifiée; cependant il était encore trop compliqué pour passer dans la pratique. Le télégraphe à aiguille devait subir des modifications avant d'atteindre le degré de simplicité qui l'a rendu applicable sur les longues lignes.

Les appareils de *Wheatstone* et *Cooke*, encore usités dans plusieurs pays, n'ont pas été employés en France; on eut recours chez nous à un système particulier permettant d'utiliser les signaux aériens de Chappe.

TÉLÉGRAPHE FRANÇAIS.

Appareil récepteur. — Il est représenté *fig. 39*, il se compose d'un mouvement d'horlogerie commandant une roue d'échappement *b* qui porte quatre dents. Une ancre *d*, fixée à un axe horizontal *ef*, fait

Fig. 39.



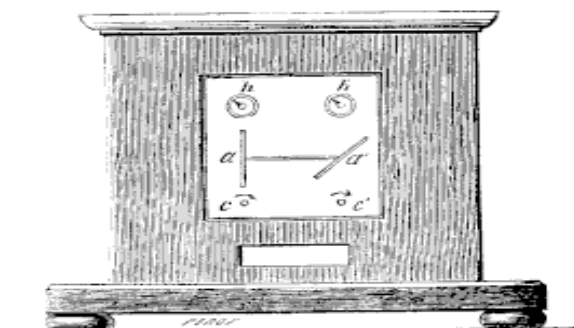
échapper une dent à chaque oscillation. L'axe ef est terminé par une fourchette f , entre les branches de laquelle passe le coude horizontal d'un levier vertical mn , terminé par une plaque de fer doux mobile autour de l'axe pq ; cette plaque constitue l'armature de l'électro-aimant E.

Toutes ces pièces sont renfermées dans une boîte, l'axe de la roue d'échappement fait saillie à l'extérieur en a (*fig. 40*) et porte à son extrémité une aiguille. Dans la même boîte et à côté, se trouve un système absolument semblable; l'extrémité de l'axe de la roue d'échappement de ce deuxième système est en a' situé sur la même ligne horizontale que a ; cet axe porte aussi une aiguille. Les deux barres sont les *indicateurs* analogues à ceux du télégraphe de Chappe.

Pour produire les signaux, on envoie deux courants successifs

par deux fils qui actionnent chacun un électro-aimant. Les roues d'échappement tournant de 45° à chaque émission, les indicateurs

Fig. 40.



tournent du même angle. Si l'on est parti de la position horizontale, la figure de l'indicateur est le signe 2 ou le signe 2' (fig. 41), suivant la direction de l'échappement.

Fig. 41

	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
1	—	→	—	→	—	→	—	→
2	←	→	←	→	←	→	←	→
3	—	→	—	→	—	→	—	→
4	←	→	←	→	←	→	←	→
5	—	→	—	→	—	→	—	→
6	←	→	←	→	←	→	←	→
7	—	→	—	→	—	→	—	→
8	←	→	←	→	←	→	←	→

Dans tous les appareils les dispositions sont prises pour que ce soit le signe 2. Si l'on interrompt le courant, l'ancre revient à sa première position, la dent de la roue d'échappement se dégage et la roue tourne encore de 45° ; il en est de même de l'indicateur, on a ainsi le signe 3. En faisant passer de nouveau le courant, en l'interrompant encore, on obtient les signes 4, 5, 6, 7, 8, 1.

On obtiendrait de la même manière les huit positions de l'autre indicateur : 2', 3', 4', 5', 6', 7', 8', 1'.

En combinant chacune des positions du premier indicateur avec toutes les positions du deuxième, on obtient les 64 signaux diffé-

rents représentés *fig. 41*. Chaque signal sera indiqué par les nombres réunis des deux colonnes à l'intersection desquelles il se trouve. On commence toujours par le nombre de la colonne verticale; on écrira donc 22', 23', etc.

Pour dénommer les signaux, on est convenu d'appeler *cinq, dix, quinze* les angles de 45°, de 90° et de 135° et d'ajouter les mots *ciel* ou *terre*, suivant que l'indicateur est au-dessus ou au-dessous de l'horizontale.

Exemples : 63' est quinze ciel dix terre.

42' s'appelle zéro cinq terre

52' *id.* grand zéro cinq terre.

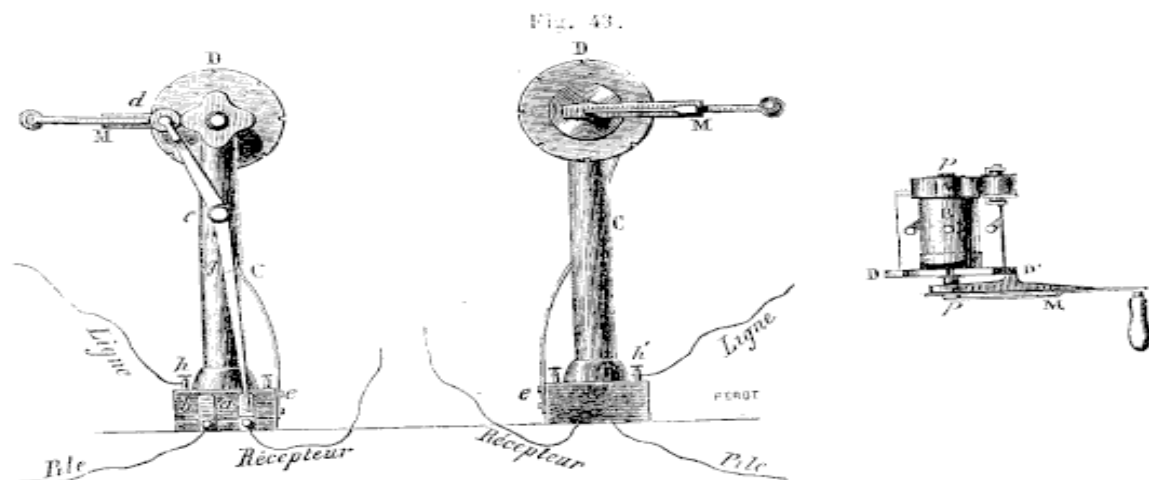
Pour la transmission en lettres, on a pris vingt-six signaux sur les 64 que fournit le télégraphe; les autres représentent les terminaisons qui se reproduisent souvent. La *fig. 42* donne les signaux correspondant aux diverses lettres et à quelques terminaisons.

Fig. 42.

Manipulateur. — Supposons qu'on veuille envoyer le signal 74', il faudra pour cela que dans l'électro-aimant de gauche le courant passe trois fois et soit trois fois interrompu, et que dans l'électro-aimant de droite il passe deux fois et ne soit interrompu qu'une fois. Le manipulateur pourrait donc se réduire à une simple touche au moyen de laquelle l'employé établirait ou interromprait le courant suivant la forme du signal. Mais il serait ainsi forcé de compter le nombre des mouvements pour produire le signal voulu, ce qui serait une cause de fatigue. On a alors imaginé un appareil sur lequel l'employé forme le signal avec deux manivelles : les dispositions sont telles que la série nécessaire des passages et des interruptions du courant se produit par le fait même de la manipulation.

Une roue en bois à quatre cames A, *fig. 43*, est fixée à l'extrémité d'un arbre en fer *pp*; cet arbre tourne dans une douille B placée au sommet d'une colonne verticale C tout entière en métal. La douille B se termine du côté opposé à la roue à cames, par une

plaque métallique circulaire D, sur la circonférence de laquelle on a pratiqué huit entailles à 45° les unes des autres à partir du diamètre horizontal; on appelle cette pièce le *diviseur*. Du même



côté, se trouve adaptée à l'arbre *pp* une manivelle à ressort M, munie d'une dent *f* pouvant entrer dans les entailles du diviseur et y être maintenue par la pression du ressort. La manivelle M, l'arbre *pp* et la roue A tournent ensemble. Si dans la rotation, la manivelle s'arrête dans chaque entaille du diviseur, il est aisé de voir qu'elle figurera avec l'horizontale les angles télégraphiques.

Le pied de la colonne présente dans la partie située au-dessous de la roue à cames une masse d'ivoire dont la surface *ab* est inclinée. Deux petites plaques de laiton *a* et *b* sont isolées entre elles dans la masse de l'ivoire et ne communiquent métalliquement avec aucune pièce de l'appareil. Un ressort en acier *ca*, mobile autour du centre *c*, s'appuie par son extrémité *a* sur la surface d'ivoire; il fait corps avec la partie *cd* située au delà du centre *c*. En *d* est un petit rouleau qui, pressé par un ressort *ge*, s'appuie constamment sur la jante de la roue A; il est destiné à adoucir le frottement. Les dimensions des cames et la longueur du ressort *ca* sont calculées de telle façon que si la roue vient à tourner, l'extrémité *a* du ressort *ca* passe successivement de *a* en *b*, mais ne dépasse pas ces deux limites.

On voit aisément que, la roue ayant quatre cames, pour une rotation entière de la manivelle le ressort exécutera quatre oscillations complètes; les cames étant symétriquement disposées, il ira de *a* en *b* ou de *b* en *a* pour chaque rotation partielle de 45°. L'axe de rota-

tion *c* est en métal, il est fixé sur la colonne qui se trouve par suite constamment en communication métallique avec le ressort *ca*. Trois boutons à vis disposés pour recevoir des bouts de fils sont placés, l'un sur *a*, l'autre sur *b* et le troisième en un point quelconque *h* de la masse métallique de la colonne.

Supposons maintenant que, dans l'état de repos, c'est-à-dire la manivelle étant horizontale, le ressort *ca* s'appuie sur la surface *a*. On attache un des pôles de la pile au fil de terre, l'autre au bouton *b* et le fil de la ligne au bouton *h* ; tout ceci se passe à la station A. Dans la station B, on attache le fil de la ligne à un des bouts du fil de l'électro-aimant de l'appareil récepteur, tandis que l'autre bout est attaché au fil de terre. Le bouton *b* étant isolé, le courant ne peut pas se produire, mais si l'on amène la manivelle à 45° de sa position, c'est-à-dire au *cinq terre*, l'extrémité *a* du ressort *ca* vient sur *b* et le courant peut passer de la pile au bouton *b*, de là au bouton *h* et sur la ligne par le ressort et la colonne ; il parvient dans l'appareil récepteur de la station B et se rend à la terre. En passant dans l'appareil récepteur il fait agir l'électro-aimant sur le levier, la roue d'échappement tourne de 45° et l'indicateur du télégraphe passe au *cinq terre*. Si l'on amène la manivelle au *dix terre*, le ressort *ca* revient sur *a*, le courant ne passe plus, le levier retombe, la roue d'échappement tourne de 45° et l'indicateur passe au *dix terre*, etc. Ainsi l'indicateur figurera sur le télégraphe de la station B le signal que l'employé fera sur le manipulateur de la station A.

CHAPITRE IV.

APPAREILS USUELS.

TÉLÉGRAPHE A CADRAN.

L'application de l'horlogerie aux appareils électromagnétiques a produit le *télégraphe à cadran*, qui est toujours usité dans les installations secondaires.

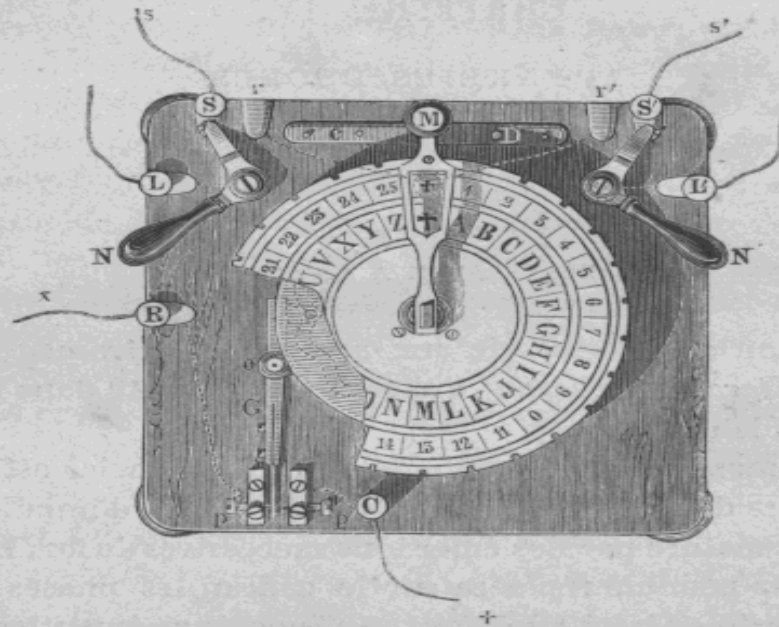
Sommairement, c'est une pendule dont le balancier est remplacé par l'armature d'un électro-aimant : qu'une série d'impulsions soit donnée à l'armature par des émissions successives du flux électrique, l'aiguille de la pendule répètera sur le cadran les phases d'arrêt et de mise en train opérées au départ. On conçoit aisément qu'une correspondance initiale établie entre la graduation du cadran de départ et de celui d'arrivée permette au correspondant de lire, l'une après l'autre, toutes les lettres touchées par l'agent qui manipule à l'autre extrémité.

Parmi les divers systèmes de télégraphes à cadran, nous mentionnerons ici le type créé par M. Bréguet. Nous commençons la description par le *manipulateur* (*fig. 44*). Il se compose d'un disque de laiton porté sur trois colonnes métalliques fixées sur une planche de bois. Le disque est divisé en vingt-six secteurs égaux sur lesquels sont gravés les vingt-cinq lettres de l'alphabet dans leur ordre naturel, les neuf chiffres significatifs, le zéro, la série des nombres de 11 à 25, et une croix ou signe conventionnel. A chaque secteur correspond une échancrure creusée sur le pourtour du disque.

Au centre une manivelle est articulée avec l'axe d'une roue indépendante placée sous le cadran. La face inférieure de cette roue est creusée d'une gorge sinuée dont la figure permet de voir une partie, et dont les sinuosités régulières sont en même nombre que les secteurs du cadran. Le levier métallique G est mobile autour de la

colonne métallique *o*, qui supporte le cadran ; son extrémité postérieure est armée latéralement d'une dent métallique engagée dans la gorge sinueuse de la roue ; son extrémité antérieure se termine par

Fig. 44.



un petit ressort placé entre deux vis métalliques *p*, *p'*, engagées elles-mêmes dans deux pièces de cuivre implantées dans la planche de bois qui supporte l'appareil. La manivelle fait tourner la roue à gorge sinueuse ; le levier *G* exécute alors un mouvement de va-et-vient, et le ressort de son extrémité antérieure vient toucher alternativement les vis *p*, *p'*. Pour un tour complet de la manivelle, l'extrémité du levier *G* touche treize fois la vis *p* et treize fois la vis *p'* ; d'ailleurs l'appareil est réglé de manière que le ressort du levier *G* appuie contre la vis *p* quand la manivelle est sur la *croix* ou sur un nombre *pair*, et contre la vis *p'* quand la manivelle est sur un nombre *impair*. La face inférieure de la manivelle est armée d'une dent qui vient se loger dans les échancrures creusées sur le bord du cadran, et s'oppose à un déplacement accidentel.

Les communications sont établies au moyen de pièces métalliques incrustées dans la planche de bois qui supporte l'appareil, de bornes métalliques distribuées sur cette planche, et de deux commutateurs à ressort *N*, *N'*.

La borne C sert à attacher un fil métallique fixé au pôle positif de la pile; elle communique en outre avec la vis p' . Le pôle négatif de la pile est relié avec la terre. La borne R communique avec la vis p , et reçoit un fil métallique qui conduit le courant au récepteur du poste. La borne L communique avec le commutateur N, et reçoit le fil de la ligne qui pénètre dans le poste par le côté gauche. La borne L' communique avec le commutateur N', et reçoit le fil de ligne qui pénètre dans le poste par le côté droit. La borne S peut être mise en relation avec le commutateur N, et reçoit un fil métallique qui conduit le courant à la sonnerie de gauche. De même la borne S', par le commutateur N', conduit le courant à la sonnerie de droite.

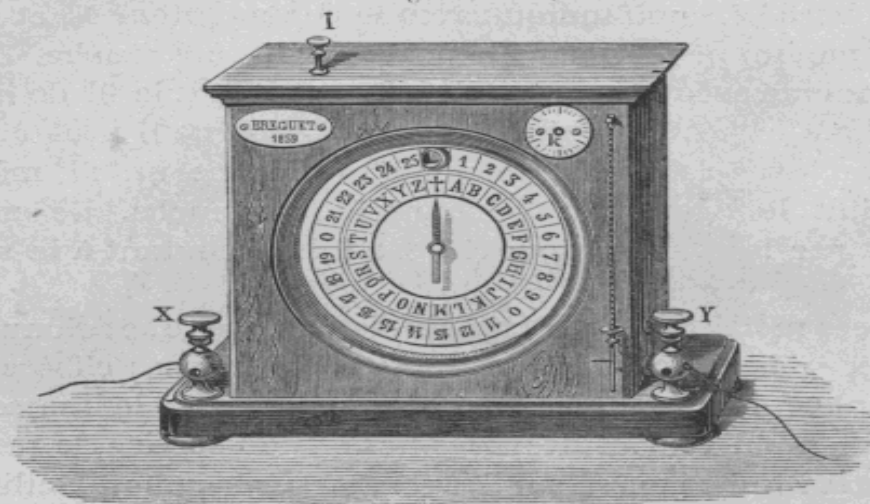
Les pièces métalliques r, r' communiquent avec une colonne métallique placée dans la croix et qui soutient le cadran; elles sont par conséquent toujours réunies au levier G à travers la masse métallique du manipulateur. Suivant les besoins du service, le ressort du commutateur N est poussé sur S, sur r , ou sur la lame métallique CD; les mêmes contacts peuvent être établis avec le ressort du commutateur N'. La languette métallique CD sert à réunir *directement* le fil télégraphique de gauche avec celui de droite; pour cela, on amène le ressort du commutateur N sur l'extrémité C et le ressort du commutateur N' sur l'extrémité D de la lame.

Le levier G communique, ainsi qu'on l'a dit, par la colonne o avec le cadran, et par son intermédiaire avec les pièces r, r' . Quand l'extrémité du levier G appuie contre la vis p , les pièces r, r' communiquent nécessairement avec la borne R et avec le récepteur du poste.

Cela posé, plaçons le ressort du commutateur N sur la pièce r , et faisons exécuter à la manivelle M un tour complet. Pendant tout ce temps, le levier G oscille autour de l'axe o , touchant la vis p quand M passe sur un nombre pair, et la vis p' quand M passe sur un nombre impair. Mais, quand le levier G touche p' , le courant de la pile passe dans le levier, traverse le cadran, se rend à la borne Z par la pièce r et le commutateur N, et se dirige sur la ligne de gauche. Quand, au contraire, le levier G touche la vis p , le circuit de la pile est interrompu; il en résulte que pour un tour entier de la manivelle, le courant éprouve vingt-six alternatives sur le fil de la ligne, il est treize fois établi dans les positions de la manivelle correspondantes aux nombres pairs ou à la croix.

Nous arrivons au *récepteur*. Le récepteur (*fig. 45*) se compose d'un cadran dont les divisions sont disposées comme celles du manipulateur, et d'un mouvement d'horlogerie placé derrière le cadran

Fig. 45.



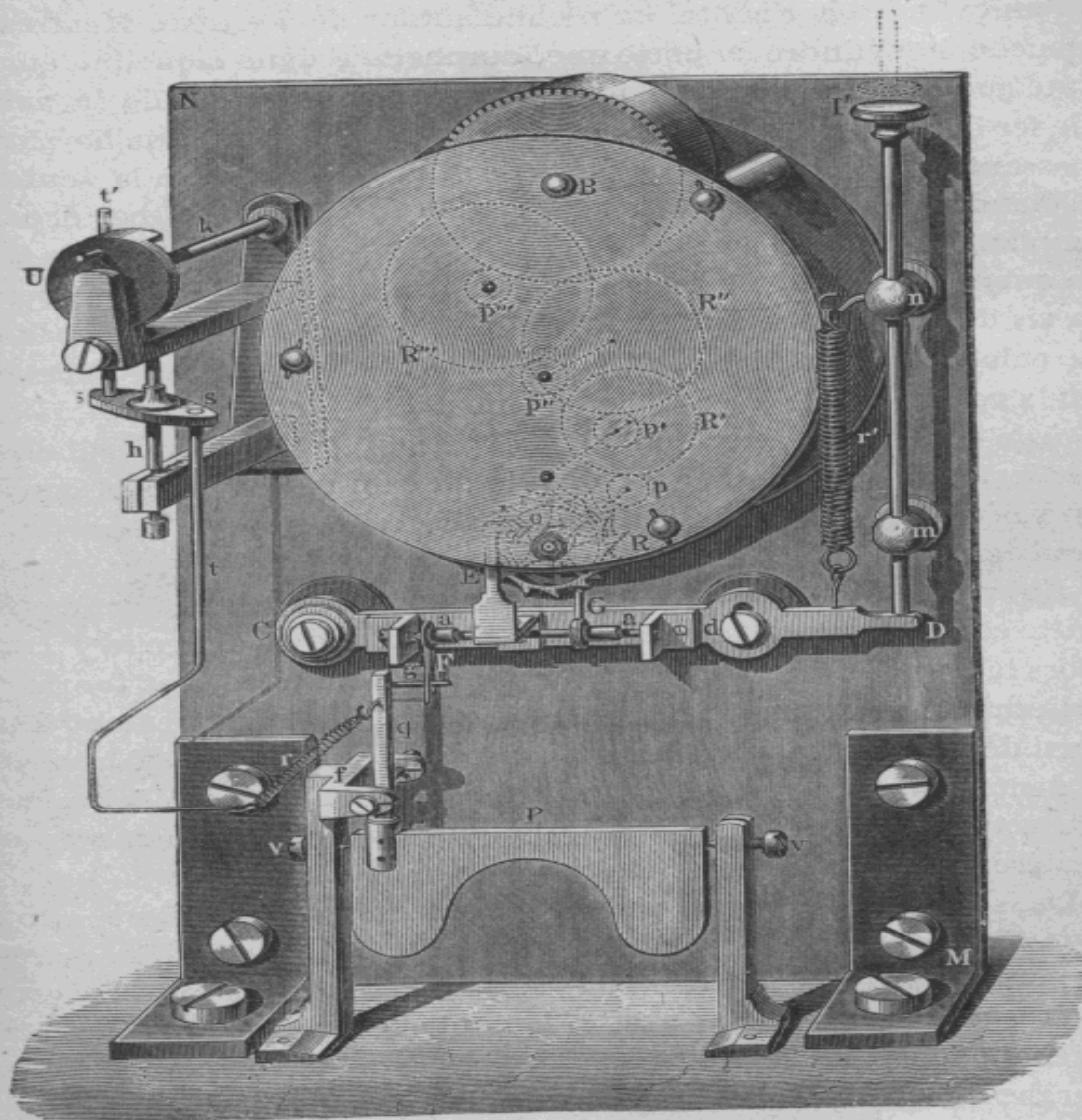
et caché dans la boîte qui enveloppe l'appareil. L'échappement du mouvement d'horlogerie et l'aiguille du cadran sont fixés sur le même axe ; leur marche est réglée par une série de pièces métalliques mises en jeu par un électro-aimant. Le courant envoyé sur la ligne arrive à la borne X, traverse le fil des bobines et l'électro-aimant, se rend à la borne Y, et de là va se perdre dans le sol. Le carré du barillet du mouvement d'horlogerie fait saillie sur la partie supérieure du cadran à la place de la croix correspondante à la série des nombres. A l'angle supérieur droit de la boîte, existe un petit cercle divisé ; le carré K, qui fait saillie au centre, est l'extrémité d'un axe qu'on peut faire tourner au moyen d'une petite clef. Ce carré sert à faire varier la tension du ressort antagoniste de la palette de l'électro-aimant et à régler la marche de l'appareil. Au-dessus de la boîte, à gauche, existe une petite tige métallique terminée par un bouton I ; en appuyant le doigt sur ce bouton, on peut manœuvrer l'appareil à la main et ramener toujours l'aiguille du cadran sur la croix.

Les *fig. 46* et *47* représentent le mécanisme intérieur du récepteur.

Un mouvement d'horlogerie (*fig. 46*) est fixé en haut, sur la face postérieure de la plaque métallique MM du cadran. La roue dentée du barillet B engrène le pignon P''' de l'axe de la roue dentée R''', qui

engrène elle-même le pignon P'' de la roue dentée R'' . Celle-ci conduit le pignon P' de l'axe de la roue dentée R' qui mène le pignon P de l'axe commun de l'échappement R et de l'aiguille du cadran.

Fig. 46.



L'échappement R se compose de deux roues dentées parallèles solidement fixées à l'axe du pignon P ; chacune de ces roues est armée de treize dents équidistantes ; les dents de l'une des roues alternent avec celles de l'autre. Sur chaque roue, deux dents successives sont donc séparées par *un treizième* de circonférence ; mais, en raison de

la disposition alterne des dents des deux roues, l'intervalle angulaire de deux dents successives de l'échappement R n'est que d'un *vingt-sixième* de circonférence.

Au-dessous de l'échappement R, est un contact métallique G fixé à un cylindre horizontal *aa* mobile autour de son axe. L'extrémité gauche du cylindre *aa* porte une fourchette F dans laquelle s'engage une goupille horizontale *g* fixée à la queue verticale *q* de la palette de fer doux P. Cette dernière peut tourner autour d'un axe horizontal passant par les pointes des deux vis *v*, *v*, qui servent à la soutenir. L'étendue des mouvements de la palette P est réglée par deux vis implantées dans les branches de la fourche *f*, et entre lesquelles passe la queue *q*. Un ressort à boudin *r* tient la queue *q* appliquée contre la vis de la branche antérieure de la fourche *f*. Dans cette position, la palette P est verticale, et le contact G est en prise avec une dent de la roue postérieure de l'échappement R.

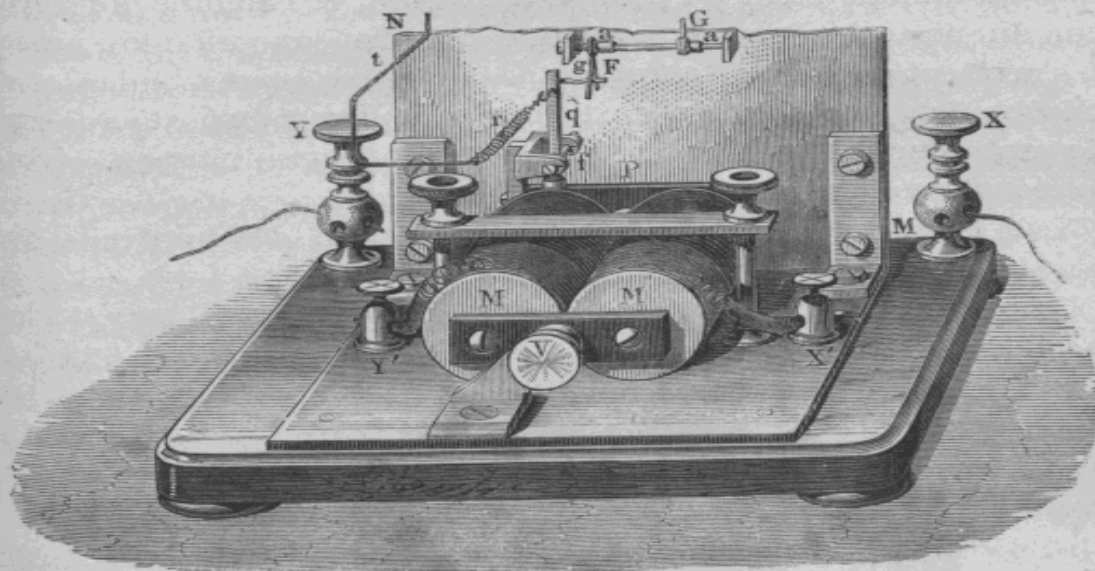
A la droite du mouvement d'horlogerie, il y a une tige métallique verticale qui sert à ramener l'aiguille du cadran à la croix. A gauche, on voit un petit appareil destiné à régler la tension du ressort antagoniste *r* de la palette.

Entraînons la palette R en avant, la queue *q*, poussée en arrière, butte contre la vis de la branche postérieure de la fourche *f*; mais alors la goupille *g* entraîne la fourchette F en arrière, fait tourner le cylindre *aa*, et pousse en avant le contact G; l'échappement R est ainsi dégagé, et le mouvement d'horlogerie marche jusqu'à ce que la dent suivante de la roue antérieure de l'échappement R heurte le contact G. L'échappement R tourne donc d'un vingt-sixième de circonférence, et l'aiguille du cadran avance d'une lettre.

Laissons maintenant la palette P reprendre sa position normale sous l'influence du ressort antagoniste *r*; la queue *q* de la palette, la goupille *g* et la fourchette F sont entraînées en avant; le cylindre *aa* tourne sur son axe, et le contact G est poussé en arrière. L'échappement R est de nouveau dégagé, le mouvement d'horlogerie marche jusqu'à ce que la dent suivante de la roue postérieure de l'échappement heurte le contact G; dans ce cas encore, l'échappement R tourne d'un vingt-sixième de circonférence, et l'aiguille du cadran avance d'une lettre. Ainsi, pour chaque déplacement en avant de la palette P et pour chaque retour de cette palette à sa position normale, l'échappement R décrit un vingt-sixième de circonférence et l'aiguille du cadran avance d'une lettre.

Il reste à montrer comment le courant de la ligne, par l'intermédiaire d'un électro-aimant, imprime à la palette P un mouvement de va-et-vient qui maintient la marche de l'aiguille du cadran du récepteur en accord parfait avec les déplacements de la manivelle du manipulateur. La *fig. 47* indique la position de l'électro-aimant par

Fig. 47.



rapport à la palette, et va servir à compléter la description du mécanisme du récepteur.

L'électro-aimant en fer à cheval présente ses surfaces polaires à la palette de fer doux P; une grosse vis, placée à l'arrière, permet de l'approcher et de l'éloigner à volonté. Une extrémité du fil des bobines s'attache à la bobine intérieure X', qui communique elle-même à la borne extérieure X, par laquelle arrive le courant. L'autre extrémité du fil des bobines s'attache à la borne intérieure Y' qui est reliée à la borne extérieure Y, à laquelle est fixé le fil de terre.

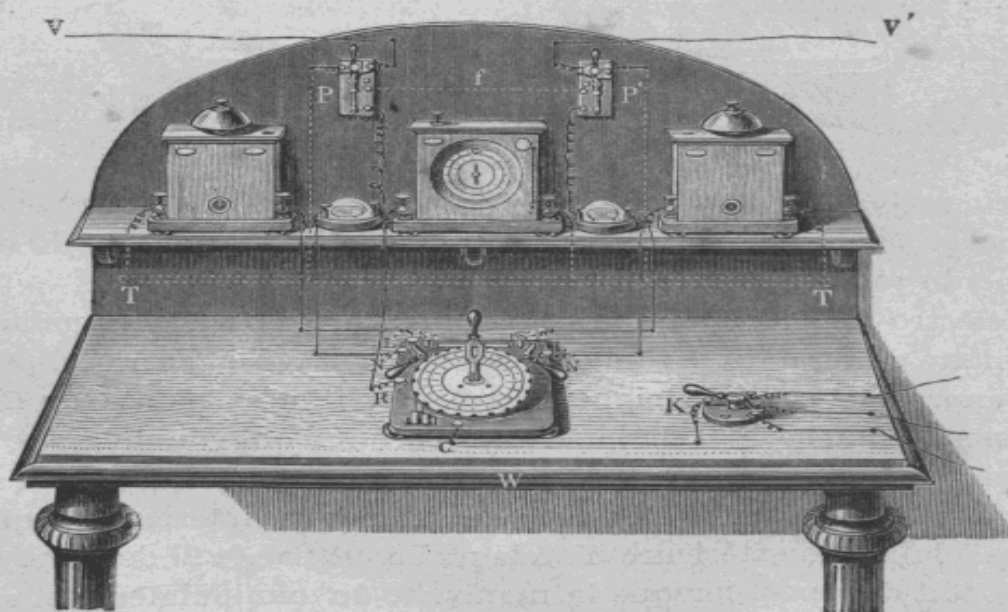
A l'état de repos, lorsque la manivelle du manipulateur est sur la *croix*, l'aiguille du cadran du récepteur est aussi sur la croix, et la palette P de l'électro-aimant est verticale. Au moment où un premier courant arrive au récepteur, la palette P, attirée, exécute une première oscillation, l'aiguille du cadran passe sur la première division correspondant à un nombre *impair*; mais pour envoyer ce premier courant, la manivelle du manipulateur qui expédie a. dû aussi passer sur la première division de son cadran. Au moment où le

courant cesse, la palette P, ramenée par le ressort antagoniste *r*, exécute une seconde oscillation, et l'aiguille passe sur la seconde division du cadran correspondant à un nombre *pair*; mais pour interrompre le courant, la manivelle du manipulateur du poste qui envoie a dû aussi passer sur la seconde division de son cadran. Il est facile de voir que pendant toute la durée de la transmission, la manivelle du manipulateur du poste qui expédie, et l'aiguille du récepteur du poste qui reçoit, ont une marche concordante, passent et s'arrêtent en même temps sur les divisions correspondantes des cadrans. Les signes indiqués par le manipulateur du poste qui expédie sont donc instantanément et exactement reproduits par l'aiguille du récepteur du poste qui reçoit la dépêche.

Nous terminerons en indiquant l'installation des appareils dans une station.

Un poste intermédiaire (*fig. 48*) correspondant avec deux stations

Fig. 48.



par les fils V et V', se compose d'un manipulateur et d'un récepteur placés sur une planchette. En face et au-dessus du manipulateur, deux sonneries, deux boussoles et deux paratonnerres P, P', sont symétriquement distribués à gauche et à droite du récepteur; le manipulateur placé sur une table fonctionne dans les deux directions. Le fil de ligne V traverse le paratonnerre et la boussole de gauche,

et vient se fixer à la borne L du manipulateur ; le fil de ligne V' traverse le paratonnerre et la boussole de droite, et vient se fixer à la borne L' du manipulateur. De la borne R part un fil qui se rend à une des bornes extérieures du récepteur. La borne C du manipulateur communique avec le pôle positif de la pile du poste par l'intermédiaire du commutateur K. La borne S du manipulateur est reliée par un fil à une des bornes extérieures de la sonnerie de gauche. La borne S' du manipulateur communique par un fil avec une des bornes extérieures de la sonnerie de droite. Enfin des deuxièmes bornes du récepteur et des deux sonneries partent des fils qui aboutissent à une bande métallique TT, qui communique elle-même avec le pôle négatif de la pile du poste et avec une large plaque métallique enfoncée dans le sol. Les communications du côté gauche du manipulateur, la boussole, la sonnerie, le paratonnerre de gauche et le récepteur, servent à correspondre par le fil V avec le poste de gauche. Les communications du côté droit du manipulateur, la boussole, la sonnerie, le paratonnerre de droite et le récepteur servent à correspondre par le fil V' avec le poste de droite.

Dans l'intérieur des stations, on doit veiller avec beaucoup de soin à maintenir l'isolement des fils de communication. Dans ce but, et pour cet usage, on emploie toujours des fils métalliques recouverts d'une enveloppe épaisse de gutta-percha.

TÉLÉGRAPHIE MORSE.

Après les premières tentatives d'exploitation du télégraphe, on vit se produire une objection capitale. A une entreprise qui allait se mettre à la disposition du public, il manquait un contrôle. *Verba volant*, dit l'adage ; on songea bientôt à *écrire* ces signaux fugitifs. De cette préoccupation sont venus tous les appareils *imprimeurs*, les vrais appareils industriels.

Le premier de tous, le roi, est encore le télégraphe *Morse* ; pour la simplicité il n'a pas de rival.

Figurez-vous un alphabet composé avec deux sortes de signaux, des *points* et des *traits*, ou si vous voulez, une musique dans laquelle on combine de toutes façons la même note, tantôt longue, tantôt brève ; vous aurez une idée de la production des signaux dans ce système. Ce qui le distingue, en effet, c'est moins la pro-

priété fondamentale de l'impression que le procédé de langage. Imaginez-vous quelque chose de plus simple que l'expérience suivante :

Vous êtes sur un chemin de fer, accidentellement arrêté au delà d'une station ; un fil télégraphique dans lequel circule un courant permanent d'électricité est à votre portée, vous brisez ce fil, et en rapprochant suivant une cadence déterminée les deux bouts de la cassure, vous entrez en conversation avec la station. Une manœuvre analogue du correspondant vous enverra sa réponse par le même conducteur ; si vous avez pris la précaution de placer les deux bouts du fil sur votre langue, par la durée relative des diverses sensations vous entendrez tout ce qu'il vous dira.

Précisons pour indiquer comment est constitué le télégraphe Morse afin de produire l'impression. L'armature de l'électro-aimant répète les phases de l'émission du courant au départ : si l'émission est courte, le contact de l'armature dure peu ; au contraire, si l'émission est prolongée, le contact persiste autant qu'elle. Il n'en faut pas davantage pour écrire la dépêche. Une bande de papier, entraînée dans un laminoir, passe sans la toucher au-dessous d'une molette garnie d'encre. Chaque mouvement de l'armature a pour effet d'appuyer le papier contre la molette : de là naissent des points ou des traits suivant la durée des contacts. En résumé, la transmission Morse se figure ainsi :

T	r	a	n	s	m	i	s	s	i	o	n
—	---	..	..	...	---	..	...	...	..	---	..
M	a	r	s	e							
---	---	---	---	.							

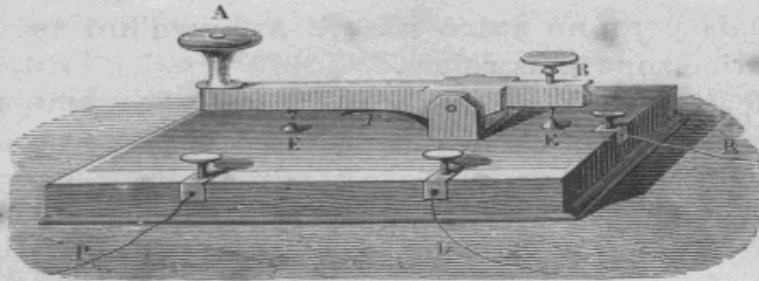
Ce type d'appareils se trouve aujourd'hui dans tous les pays : on peut même ajouter que là où l'instruction primaire est en faveur, il fait partie du matériel scolaire.

Cet appareil, importé d'Amérique en Europe en 1838, a reçu plusieurs perfectionnements ; nous le décrirons dans sa forme usuelle. Le *manipulateur* est un interrupteur au moyen duquel l'employé du poste de départ laisse passer sur la ligne une série de courants discontinus d'inégale durée, dont le nombre et l'ordre de succession varient avec la lettre de l'alphabet ou le chiffre qu'il veut transmettre.

Sur un socle de bois (*fig. 49*), est fixée une pièce de cuivre en forme de fourchette, qui sert de support à un levier métal-

lique AB mobile autour d'un axe horizontal. Une des extrémités du levier est munie d'une poignée de bois A, l'autre est traversée par une vis B. Sur le socle de bois et au-dessous du levier sont

Fig. 49.



fixés un petit ressort et deux contacts métalliques E, E', qui sont alternativement en communication avec le levier AB. A l'état de repos, le ressort soulève le levier, l'éloigne du contact E, et maintient l'extrémité de la vis B appuyée sur le contact E'. Quand on presse sur la poignée A, la vis B quitte le contact E', et le levier vient butter par une pointe métallique contre le contact E. Le ressort ramène le levier à la position de repos, quand la pression cesse.

Le socle de bois porte en outre trois bornes métalliques : P communique avec le contact E et reçoit un fil métallique qui aboutit au pôle positif de la pile de ligne; L communique avec le levier par l'intermédiaire de son support; cette borne reçoit le fil de ligne. R communique avec le contact E', et par un fil métallique, avec le récepteur. Le levier AB est ainsi en relation permanente avec le fil de la ligne par son support métallique et la borne L. Par l'intermédiaire de ce levier, on peut à volonté faire communiquer le fil de la ligne avec le récepteur ou avec le pôle positif de la *pile de ligne*, suivant qu'on laisse la vis reposer sur le contact E, ou qu'on maintient la pointe appuyée sur le contact E'.

Lorsque le levier AB est abandonné à lui-même, le ressort pousse la pointe de la vis contre le contact E'; le manipulateur est dans la position de *réception*. Lorsque le levier est abaissé par la pression exercée sur la poignée A, la pointe touche le contact E, et le manipulateur est dans la position d'*émission*.

Nous passons au *récepteur*. Dans les premiers appareils Morse, le courant transmis par la ligne n'avait pas assez de force pour faire

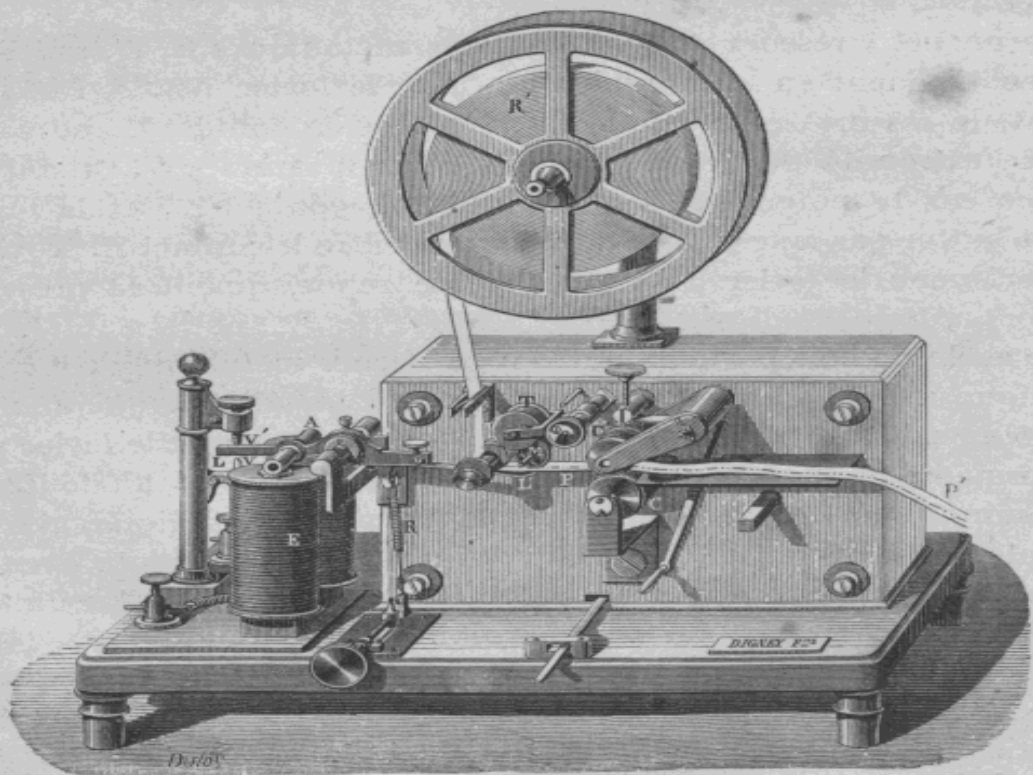
marcher convenablement l'appareil à signaux. Le récepteur contenait alors un appareil spécial appelé *relais*, qui recevait le courant de la ligne, fermait le circuit d'une *pile locale* dont l'action était tout entière employée à mettre l'appareil à signaux en mouvement.

Nous aurons occasion de revenir sur cette disposition qui a été conservée, mais pour un autre usage. Aujourd'hui les récepteurs Morse en service sont sans relais.

Les modifications apportées par M. John et par MM. Digney ont facilité beaucoup la lecture des dépêches et simplifié considérablement le mécanisme de l'appareil.

La *fig. 50* représente le récepteur. Au lieu d'opérer un simple

Fig. 50.



gaufrage du papier toujours difficile à lire, comme dans les anciens appareils à relais, l'extrémité du levier mobile *L* imprime sur la bande de papier des *traits* à l'encre très-nets et très-visibles.

En *T* est un gros tampon cylindrique de feutre ou de drap, imbibé d'encre oléique; ce tampon, mobile autour d'une tige horizontale, peut, sous l'influence du moindre frottement, tourner

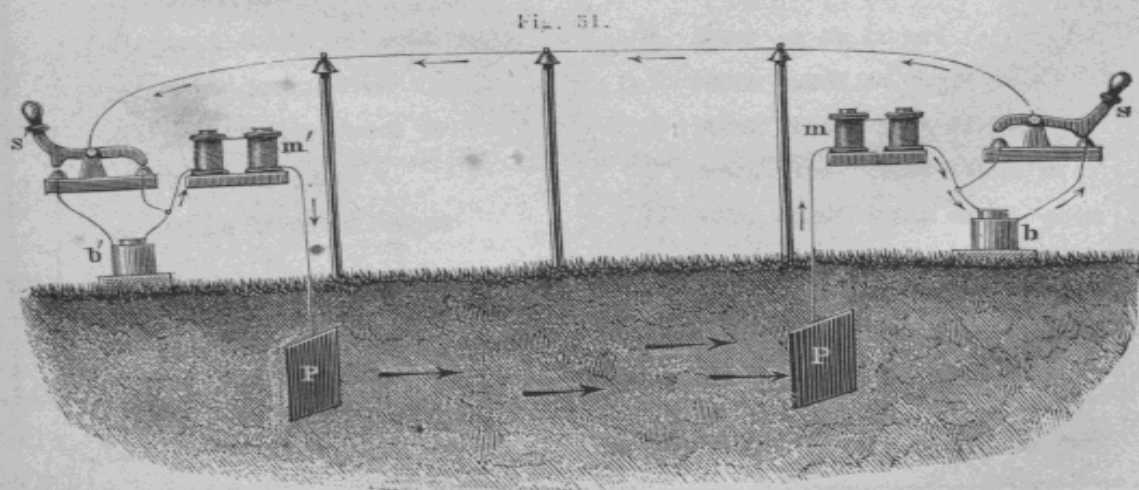
autour de son axe. La petite molette métallique M tourne autour de son centre à mesure que la bande de papier PP' se déroule entre deux laminoirs entraînés par un mouvement d'horlogerie; en même temps elle frotte contre le tampon T, et se charge d'encre. La bande de papier glisse au-dessous de la molette sans la toucher, et appuie sur la tranche d'un petit marteau qui termine le levier L de l'armature.

Au moment où le courant passe, la palette du levier L est attirée; le petit marteau se relève, soulève la bande de papier contre la molette M qui imprime une trace très-nette dont la longueur dépend de la durée du courant. Une vis permet de régler très-facilement la position du marteau pour donner une bonne impression des signaux.

Lorsque le tampon est une fois imbibé, on le maintient facilement en bon état; il suffit de déposer toutes les vingt-quatre heures quelques gouttes d'encre, au moyen d'un pinceau.

En raison de la force nécessaire pour produire le gaufrage de la bande de papier, l'appareil à pointe sèche ne pouvait marcher régulièrement que sous l'influence d'un courant de très-grande intensité; il n'en est plus de même dans le nouveau système. Pour que la molette imprime un trait, il n'est pas nécessaire que le marteau presse sur elle, il suffit que la bande de papier atteigne la couche d'encre; le levier L, n'ayant pas d'effort mécanique à exercer, peut être allégé sans inconvénient.

L'installation de deux stations en correspondance par les appareils du système Morse est représentée *fig. 51*.



s et s' sont les deux manipulateurs ;
 b et b' — piles ;
 m et m' — électro-aimants des récepteurs.

Le courant envoyé par s va par l'intermédiaire de la ligne actionner l'électro-aimant m' , mais en même temps il fait marcher aussi l'électro-aimant m de telle sorte que la station de départ a sur son propre appareil le contrôle de sa transmission. Cette disposition est facultative, elle n'est pas la plus usitée.

Alphabet. — L'employé du poste qui expédie peut faire varier à volonté la durée du courant émis sur la ligne, et par suite, régler la durée du contact de la molette du récepteur avec la bande de papier ; il reste donc toujours maître de la longueur des traces imprimées au poste qui reçoit. On est convenu de n'employer que deux espèces de traces : *le point* (·), qui correspond à un courant instantané ; *le trait* (—), qui a toujours la même longueur et qui correspond à un courant de durée déterminée. La combinaison de ces deux signaux suffit pour faire un alphabet complet.

Le tableau suivant donne le système de signaux adopté par toutes les Administrations :

APPAREIL MORSE

(SIGNAUX)

LETTRES. SIGNES.

a	— — — —
ä	— — — — — — — —
b	— — — — — — — —
c	— — — — — — — —
ch	— — — — — — — —
d	— — — — — — — —
e	— — — — — — — —
é	— — — — — — — —
f	— — — — — — — —
g	— — — — — — — —
h	— — — — — — — —
i	— — — — — — — —
j	— — — — — — — —
k	— — — — — — — —
l	— — — — — — — —
m	— — — — — — — —
n	— — — — — — — —
ñ	— — — — — — — —
o	— — — — — — — —
ö	— — — — — — — —
p	— — — — — — — —
q	— — — — — — — —

LETTRES. SIGNES.

r	— — — — — — — —
s	— — — — — — — —
t	— — — — — — — —
u	— — — — — — — —
ü	— — — — — — — —
v	— — — — — — — —
w	— — — — — — — —
x	— — — — — — — —
y	— — — — — — — —
z	— — — — — — — —

CHIFFRES. SIGNES.

1	— — — — — — — —
2	— — — — — — — —
3	— — — — — — — —
4	— — — — — — — —
5	— — — — — — — —
6	— — — — — — — —
7	— — — — — — — —
8	— — — — — — — —
9	— — — — — — — —
0	— — — — — — — —

NOTA. — Espacement et longueur des signes :

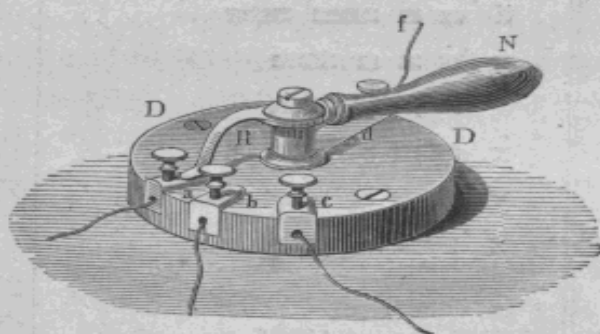
- 1° Une barre est égale à trois points;
- 2° L'espace entre les signaux d'une même lettre est égal à un point;
- 3° L'espace entre deux lettres est égal à trois points;
- 4° L'espace entre deux mots est égal à cinq points.

APPAREILS ACCESSOIRES.

Commutateurs.

Les commutateurs sont des instruments qui permettent de changer facilement les communications entre plusieurs fils. Le plus simple de ces appareils sert à faire communiquer alternativement, et à volonté, un fil avec plusieurs autres. Il se compose d'un disque rond en bois (*fig. 52*) sur lequel sont incrustées les pièces de cuivre *a*, *b*, *c*, *d*, munies de trous dans

Fig. 52.



lesquels on engage les extrémités des fils conducteurs dénudés; des vis maintiennent ces fils et assurent leur contact avec les pièces de cuivre. Au centre du disque de bois qu'on place sur les tables de manipulation, est un axe métallique portant un ressort recourbé

de cuivre ou d'acier *R* qu'on peut faire tourner au moyen d'une poignée *N*. L'axe et par suite le ressort communiquent par une lame de cuivre avec la pièce *d*.

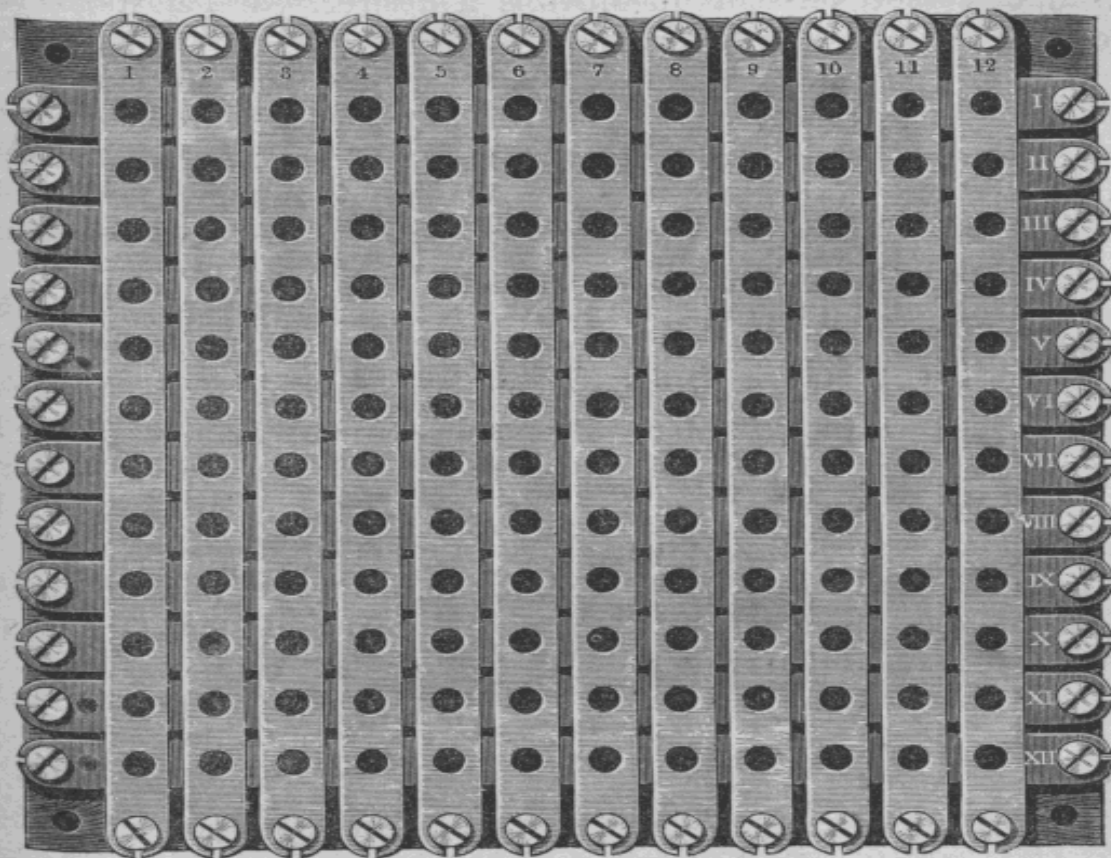
En tournant le ressort et faisant appuyer son extrémité sur une des pièces *a*, *b* ou *c*, on fait communiquer le fil *f* avec le fil qui correspond à la pièce pressée par le ressort. Si, au contraire, le ressort repose sur le bois, toute communication entre les fils est interrompue.

Les commutateurs diffèrent par le nombre des lames qu'ils portent; on en a, suivant les besoins, pour 3, 4, 5 et 6 fils.

Commutateur suisse. — Il est formé d'une pièce rectangulaire en bois, assez épaisse (*fig. 53*), sur laquelle sont disposés à angle droit deux systèmes de lames parallèles en cuivre 1, 2....., 11, 12 et I, II....., XI, XII, croisées. Ces lames sont terminées d'un côté par des bornes de cuivre auxquelles on fixe les fils. Aux points qui correspondent au croisement des lames, se trouvent des trous dans lesquels on enfonce une cheville en cuivre fendue à sa partie inférieure de façon à former ressort. Cette cheville presse les deux



Fig. 53.



lames quelle traverse et fait communiquer les deux fils qui aboutissent à ces lames. Avec plusieurs chevilles, on peut établir simultanément divers systèmes de communication.

On fait varier suivant les besoins le nombre des lames du permutateur. On en a construit à 20 et 30 lames; mais on ne doit pas exagérer les dimensions de l'instrument, car la planchette de bois pourrait fléchir et les trous des lames ne seraient plus exactement en regard.

Il est préférable de réunir un certain nombre de permutateurs de façon à en former un seul en les assemblant en carré. Ainsi, quatre permutateurs à trois lames parallèles, dont les lames sont réunies deux à deux, constituent un seul permutateur à six lames parallèles.

Les contacts produits par la pression d'un ressort d'acier sur une

lame métallique ou par la pénétration d'une clavette ou cheville formant ressort laissent quelquefois à désirer, car l'élasticité des ressorts diminue avec le temps.

On préfère souvent les contacts obtenus par l'introduction d'une cheville épaisse et légèrement conique, entre deux lames échanérées et rapprochées l'une de l'autre. Ces deux lames sont incrustées sur une pièce de bois percée d'un trou. Quand on enfonce la cheville dans le trou, elle touche forcément les deux lames et établit toujours un bon contact.

En Amérique, quelques Compagnies emploient des commutateurs dans lesquels le contact est établi par pression au moyen d'un curseur excentrique qu'on fait glisser sur une tige fixe au-dessus de lames métalliques parallèles. Quand le curseur est arrivé au-dessus de la lame qu'on veut faire communiquer avec la tige, on tourne l'excentrique à l'aide d'une petite queue, il presse la lame en soulevant la tige qui fait ressort; on obtient ainsi un excellent contact.

Les commutateurs peuvent recevoir les formes les plus variées, et il est facile de les disposer de façon à ce qu'ils se prêtent facilement à toutes les opérations qu'on y a à exécuter dans les postes.

Boussoles.

Les instruments dont l'emploi est le plus commode pour connaître le passage du courant électrique sont les boussoles ou galvanomètres: tous les bureaux télégraphiques doivent en être pourvus.

Ces instruments peuvent être employés dans des conditions très-différentes, leur forme est déterminée suivant l'usage auquel ils sont destinés. Les uns, en effet, ont seulement pour but d'indiquer le passage du courant, d'autres doivent servir à mesurer l'intensité avec une certaine exactitude pour les recherches des dérangements, d'autres sont employés à des études sur l'isolement des conducteurs, etc.

Galvanomètres de postes.—Lorsqu'on transmet une dépêche et que le correspondant ne répond pas immédiatement, on n'aurait aucun moyen de s'assurer que le circuit de la pile a été fermé et que le courant a été envoyé, si l'on ne faisait traverser au courant un galvanomètre.

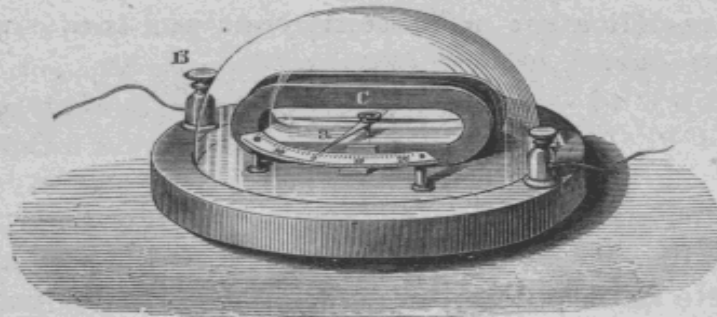
On place donc toujours un pareil instrument dans le circuit, entre le manipulateur et le fil de ligne. On ne peut évidemment conclure

du mouvement de l'aiguille que le poste correspondant reçoit les signaux qui lui sont transmis, mais on est au moins certain que la pile a fourni un courant et que ce courant a été envoyé sur la ligne ; c'est une présomption de l'arrivée de la transmission à sa destination. Le galvanomètre sert aussi à indiquer le passage du courant envoyé par le poste correspondant, ce qui peut être utile en cas de dérangement du récepteur.

Ces sortes de galvanomètres, n'ayant pour but que de faire connaître si le courant passe, n'ont pas besoin d'être précis. On leur donne, suivant les pays, des formes et des dimensions assez variées.

En France, ils sont formés d'un socle de bois portant le cadre de fil recouvert ; un pivot supporte l'aiguille aimantée sur laquelle est fixée, à angle droit, une aiguille indicatrice en cuivre dont l'extrémité se meut au-dessus d'un cercle gradué (*fig. 54*) ; un globe de verre

Fig. 54.



recouvre l'appareil. Les deux bouts du fil sur le parcours duquel le galvanomètre est intercalé s'attachent à deux bornes extérieures qui communiquent avec le fil recouvert.

Le galvanomètre ainsi établi doit être préalablement orienté, c'est-à-dire placé de telle sorte que, l'aiguille prenant sa position normale sous l'influence du magnétisme terrestre, l'extrémité de l'indicateur se trouve exactement au-dessus du zéro de l'arc gradué. On oriente le galvanomètre une fois pour toutes et on le fixe au moyen de vis ou de cales sur la table de manipulation.

Afin d'éviter cette orientation, on dispose souvent en face de l'une des extrémités de l'aiguille aimantée, un petit aimant permanent qui maintient toujours par son attraction l'aiguille dans la même position par rapport à l'arc gradué, et telle que l'aiguille indicatrice se trouve en face du zéro. L'attraction de cet aimant l'emporte de beaucoup

sur celle de la terre et l'aiguille est soumise à la double action de l'aimant et du courant. D'autres fois l'aiguille est verticale, elle est maintenue dans cette position par un petit poids.

Quant au nombre de tours du fil sur l'aiguille, il peut être choisi arbitrairement, mais on doit adopter un nombre uniforme pour tous les postes d'un même service; vingt tours sont un nombre très-convenable, qui donne à la boussole une sensibilité suffisante.

Ces galvanomètres ne peuvent servir pour comparer exactement l'intensité des deux courants, mais néanmoins ils suffisent pour qu'on puisse avec un peu d'habitude reconnaître si l'émission se fait dans des conditions normales.

Les aiguilles se désaimantent quelquefois. On les aimante en les frottant toujours dans le même sens sur le pôle d'un aimant permanent ou d'un électro-aimant autour duquel on fait circuler le courant.

Nous ne parlerons pas ici des galvanomètres perfectionnés pour les expériences délicates; nous renvoyons aux traités spéciaux pour la *mesure électrique*.

Paratonnerres.

On évite les inconvénients de l'électricité orageuse sur les fils et dans les postes au moyen de *paratonnerres*. Il y en a deux espèces basées sur les propriétés des courants atmosphériques.

1° On profite de la tension considérable de ces courants: on leur offre en un point du circuit une assez grande surface très-rapprochée d'un conducteur communiquant avec la terre.

C'est le principe des paratonnerres à pointe et à plaque isolante.

Paratonnerres à pointes. — On fixe sur une plaque métallique une grande quantité de pointes dont les extrémités sont à une très-petite distance d'une seconde plaque parallèle à la première. Celle-ci communique avec la terre, la première est en relation avec la ligne d'un côté et avec le récepteur de l'autre.

La résistance de la mince couche d'air qui sépare les pointes de la plaque de terre est aisément surmontée par la grande tension d'un courant atmosphérique. On sait d'ailleurs que les conducteurs en pointe offrent à l'écoulement de l'électricité un passage facile. Dès lors la plus grande partie du courant atmosphérique se décharge entre les pointes et la terre, et ce qui reste peut passer dans le récepteur sans occasionner de dégâts dans les bobines.

Paratonnerres à lame isolante. — Si l'on met entre deux plaques parallèles une lame isolante très-mince, soit en papier, soit en mica, soit en gutta-percha, la résistance de cette lame, très-suffisante pour empêcher les courants ordinaires de la traverser, permet au contraire la décharge de l'électricité orageuse; la plaque se trouve ainsi percée d'une foule de petits trous très-fins, ce qui ne l'empêche pas de servir plusieurs fois; il est en tout cas très-facile de la remplacer. On place habituellement ces appareils à l'entrée des fils dans les bureaux télégraphiques.

2° On peut utiliser aussi l'effet calorique produit par le passage du courant atmosphérique à travers un fil très-résistant.

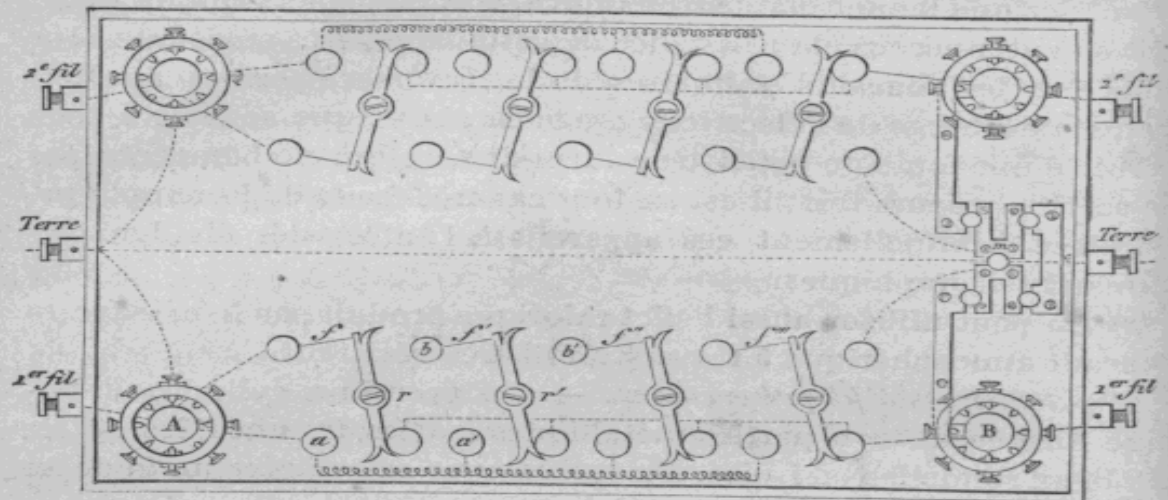
Paratonnerres à fil preservativeur. — On prend un cylindre ou bobine formée de trois parties métalliques isolées les unes des autres par deux rondelles en ivoire. On enroule sur ce cylindre un fil de fer très-fin (de 0^{mm},1 environ de diamètre), dit fil preservativeur, recouvert de soie sur toute sa longueur, sauf aux extrémités où il est dénudé et serré par des vis à tête ronde.

La partie moyenne communique avec la terre; la partie supérieure avec la ligne et la partie inférieure avec le récepteur. A l'état ordinaire la ligne communique donc avec le récepteur par l'intermédiaire du fil fin. Mais s'il arrive un courant atmosphérique, une portion du fil sera dénudée, la soie étant brûlée; dès lors, la partie supérieure communiquera avec la partie moyenne et par suite avec la terre où viendront se perdre le courant qui a produit cet effet et les courants suivants. On place ordinairement sur le passage de chaque fil un paratonnerre à pointes et un paratonnerre à fil preservativeur.

Nous terminerons ce sujet en indiquant un système ingénieux de M. Picco, qui a pour but d'empêcher que la destruction du fil preservativeur ne laisse la ligne sans communication avec le récepteur.

La fig. 55 représente un appareil pour deux fils. Sur une planchette rectangulaire de bois sont placées quatre boules de cuivre soutenues par de petites colonnes métalliques qui communiquent avec la ligne. Autour de chacune des boules est un anneau métallique traversé par huit vis à pointes de platine qui arrivent tout près des sphères sans les toucher. Ces anneaux communiquent avec le sol; le courant de chacun des fils passe par deux boules qui font l'office de paratonnerre à pointes (A et B, par exemple, pour le premier fil), et entre les deux boules il trouve un preservativeur à fil fin. Si le fil / est

Fig. 55.



brûlé par une première décharge, la lame à ressort r vient toucher les deux butoirs a et b et établit une nouvelle communication avec l'appareil; si alors une seconde décharge brûle le fil f' , la lame r vient de même toucher les butoirs a' et b' , et ainsi de suite. Quatre fils fins peuvent être successivement brûlés, et c'est alors seulement que la ligne se trouve mise à la terre. Il suffit à ce moment d'ôter la cheville m du commutateur c pour rétablir la communication, le système qui entoure les boules A et B continuant d'ailleurs d'agir comme paratonnerres à pointes.

Sonnéries.

Le bruit des appareils de transmission n'est pas toujours suffisant pour éveiller l'attention des employés dans les postes télégraphiques. On remédie à cet inconvénient en intercalant dans le circuit des sonneries électriques, dont l'organe principal est un marteau qui frappe sur un timbre au moment du passage du courant.

On emploie aussi les sonneries dans les stations où un appareil doit servir à plusieurs lignes. Les divers fils aboutissent chacun à une sonnerie, et si l'une d'elles en fonctionnant indique un appel, on l'enlève du circuit pour la remplacer par le récepteur, ce qui se fait aisément au moyen d'un commutateur.

Tantôt le marteau est mis en mouvement par un mécanisme

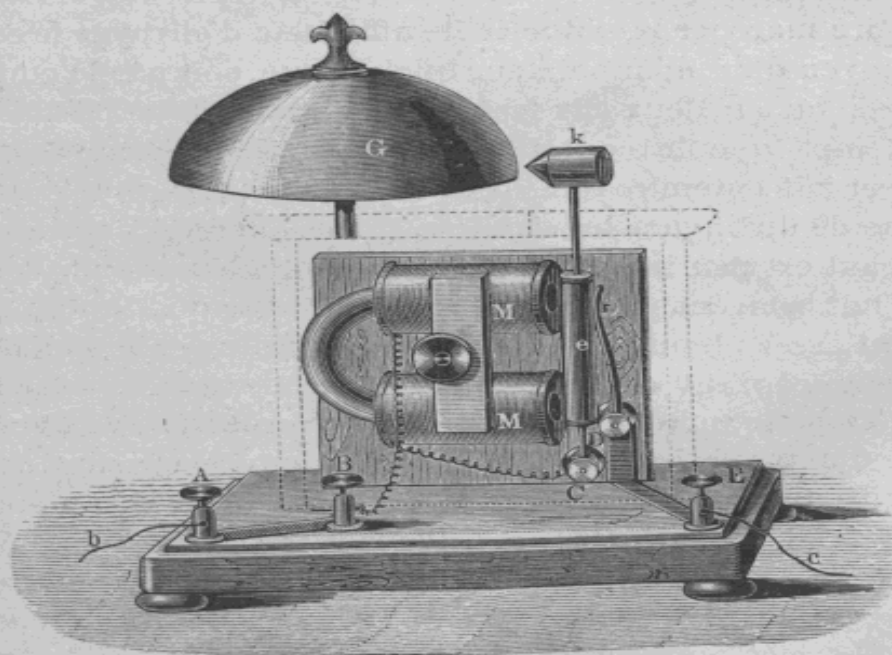
d'horlogerie, le courant n'ayant d'autre fonction que de produire le déclenchement; tantôt il est mis en mouvement directement par le courant.

Les sonneries à mouvement d'horlogerie produisent plus de bruit que les autres et sont préférées en général pour les appels de nuit, ou pour des postes desservis par des employés qui peuvent être occupés loin des bureaux. Mais elles sont assez compliquées, et d'un prix élevé; en outre il faut les remonter de temps à autre. Celles qui fonctionnent sous l'action directe du courant sont au contraire d'une grande simplicité; nous ne décrirons que ces dernières.

Sonneries à trembleur. — On obtiendrait une sonnerie en fixant à une armature, disposée comme celle d'un relais ou d'un appareil ordinaire, un marteau qui viendrait frapper sur un timbre au moment du passage du courant. Chaque coup serait produit par une émission distincte et il faudrait un grand nombre d'émissions se succédant rapidement pour produire un son suffisant et persistant.

On a songé à faire produire les interruptions par l'instrument lui-même, et c'est ce que réalisent les *trembleurs*.

Fig. 56.



La fig. 56 représente une sonnerie à trembleur. MM est l'électro-

aimant dont le fil arrive d'une part à la borne B reliée elle-même à la borne extérieure A, et de l'autre à une pièce métallique ou bouton C, qui soutient l'armature *e* par l'intermédiaire d'une lame flexible faisant ressort. L'armature, qui porte à son extrémité le marteau *k* s'appuie sur le ressort *r*, qui est fixé par un bouton fixe *c* communiquant à la borne extérieure E.

Si le courant arrive par la borne E, l'autre étant en communication avec la terre ou réciproquement, il passe par le bouton *c*, le ressort *r*; l'armature *e* et le bouton C, traverse le fil de l'électro-aimant et le circuit se complète par le fil Ab. L'armature est attirée; au moment où elle se sépare du ressort *r* le circuit est rompu, et le poids de l'armature, combiné à l'action du ressort fixé en C, l'entraîne en arrière jusqu'à ce qu'elle se trouve de nouveau en contact avec *r*; le circuit se ferme de nouveau, et le levier est encore attiré, il décrit une série d'oscillations; à chacune d'elles le marteau *k* vient frapper sur le timbre.

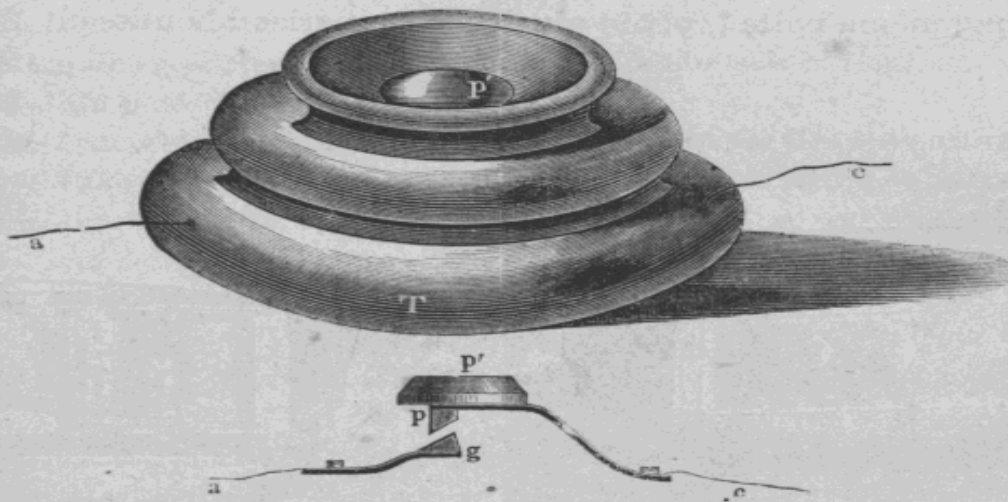
Le ressort *r* accompagne pendant un certain temps l'armature dans son mouvement et permet à l'électro-aimant d'acquérir une assez grande force magnétique pour donner une impulsion suffisante au marteau.

Pour faire marcher la sonnerie il suffit donc d'envoyer le courant, soit au moyen d'un manipulateur quelconque, soit par le contact de deux lames ou de deux fils fermant le circuit de la pile. Pendant tout le temps que le courant est envoyé, le marteau frappe sur le timbre et fait entendre une sorte de roulement dont la durée permet même de distinguer les signaux. Il faut observer cependant que si le courant est peu intense, le mouvement du marteau est faible et qu'on doit souvent prolonger l'émission pour que les oscillations deviennent assez étendues et que le marteau frappe le timbre.

Lorsque le courant est trop faible pour faire fonctionner la sonnerie, on emploie un relais qui recevant le courant de la ligne ferme le circuit d'une pile locale. Les appareils de transmission du poste peuvent eux-mêmes servir de relais, et la pile locale se compose avec une portion de la pile qui sert à l'envoi du courant sur la ligne. Ces appareils sont plus sensibles que les sonneries ordinaires à trembleur; il faut pour les mettre en mouvement une force moins considérable, car, pour fermer le circuit de la pile locale et faire marcher le marteau, il suffit que le courant arrive dans l'appareil avec une force suffisante pour dégager l'armature du relais.

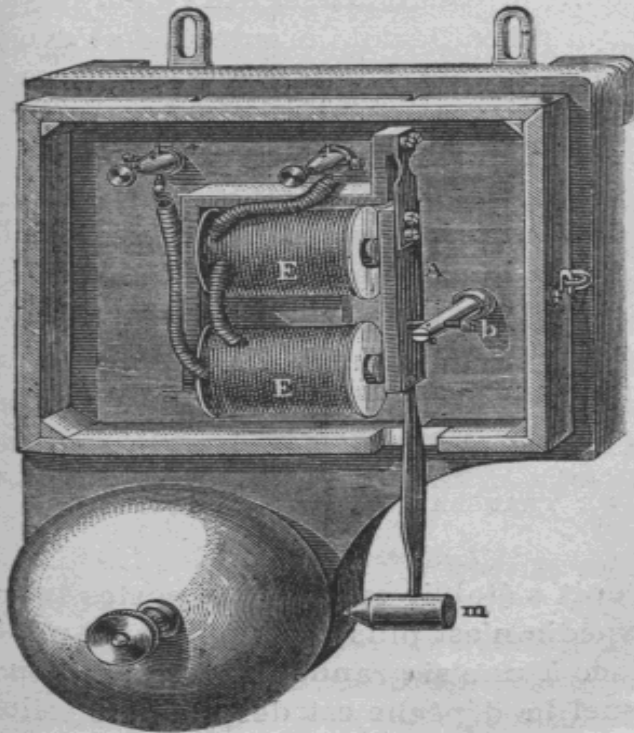
Nous terminerons par l'indication de quelques dispositifs que l'on rencontre fréquemment aujourd'hui. Mentionnons d'abord le bouton de sonnerie usité pour les communications intérieures d'une maison. Un socle en bois T (*fig. 57*) renferme le mécanisme très-simple

Fig. 57.



représenté dans la coupe : deux pièces métallique p et g , séparées à l'état ordinaire par la tension d'un ressort fixé à la pièce p , sont réunies momentanément lorsqu'on presse le bouton p' ; les fils a et c , qui communiquent respectivement avec la pile et la sonnerie, font marcher cette dernière lorsque le contact entre p et g est établi. Au contraire, lorsqu'on a cessé d'appuyer sur le bouton p' , le ressort sépare de nouveau les pièces p et g et interrompt le bruit du timbre.

Fig. 58.

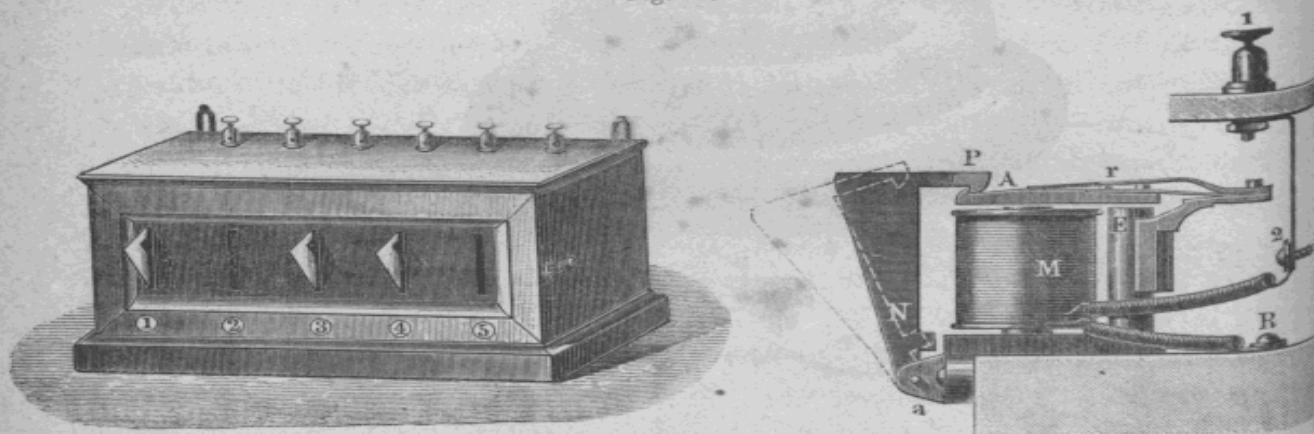


La *fig. 58* représente la disposition d'une sonnerie d'appartement, frappant autant de coups qu'on pro-

duit de contacts avec le bouton de sonnerie. Ce modèle est très-employé : il se compose d'un électro-aimant, d'une armature fixée contre un ressort, et d'un timbre ; le fonctionnement n'a plus besoin d'être expliqué après les détails qui précèdent.

Citons enfin la disposition adoptée par M. Bréguet pour réunir dans une même boîte (*fig. 59*) plusieurs sonneries aboutissant à des

Fig. 59.



directions différentes, et maintenir, en cas d'absence de l'employé, la trace de l'avertissement. C'est la pièce P mobile autour de l'axe *a* qui est déclanchée par le soulèvement de l'armature de l'électro-aimant, et vient faire saillie par une fente, au dehors de la boîte commune, et dans la place assignée à la communication qui a produit l'appel.

Il est juste de dire, à propos de l'énumération que nous faisons ici, que c'est à Wheatstone que l'on doit la première application de l'électricité aux sonneries ; c'est en effet par des appareils à mouvement d'horlogerie qu'il compléta le récepteur à aiguille, qui marque dans l'histoire de la télégraphie comme un des premiers types usuels.

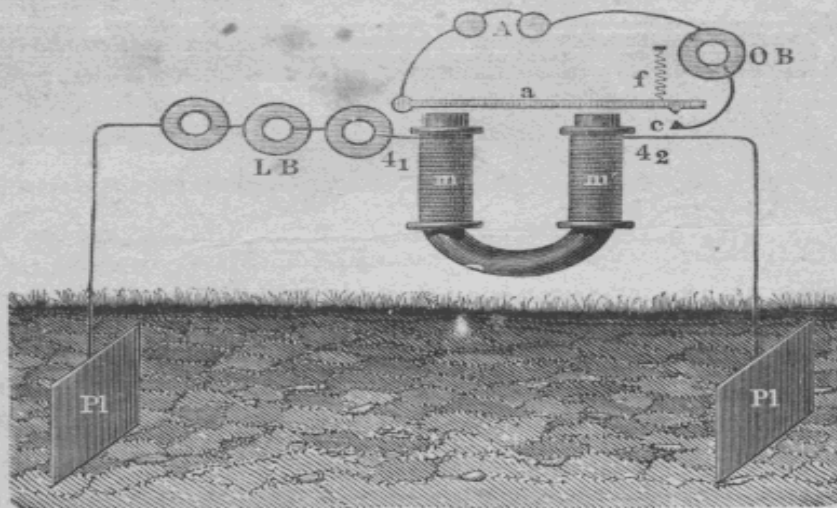
APPAREILS DE TRANSLATION.

Lorsque la correspondance doit s'établir entre deux postes très-éloignés, la pile du poste qui expédie n'est plus assez puissante pour faire parvenir un courant efficace à une si grande distance ; le courant qui traverse le poste auquel la dépêche est destinée est telle-

ment affaibli par la résistance et les pertes de la ligne, qu'il est incapable de faire marcher le récepteur. Dans ce cas, on a recours à l'emploi de *relais* automatiques fonctionnant dans les postes intermédiaires et qui réexpédient de distance en distance un courant frais, puisé à la station où est installé le relais. Avec cette disposition, appelée *translation*, chaque pile ne fonctionne en réalité qu'entre deux postes successifs, et la dépêche est transmise facilement d'un poste extrême à l'autre.

L'idée du relais, comme la plus grande partie des inventions qui ont rendu pratique la télégraphie électrique, appartient à Wheatstone. La *fig. 60* représente un dispositif qu'il avait imaginé dans son

Fig. 60.

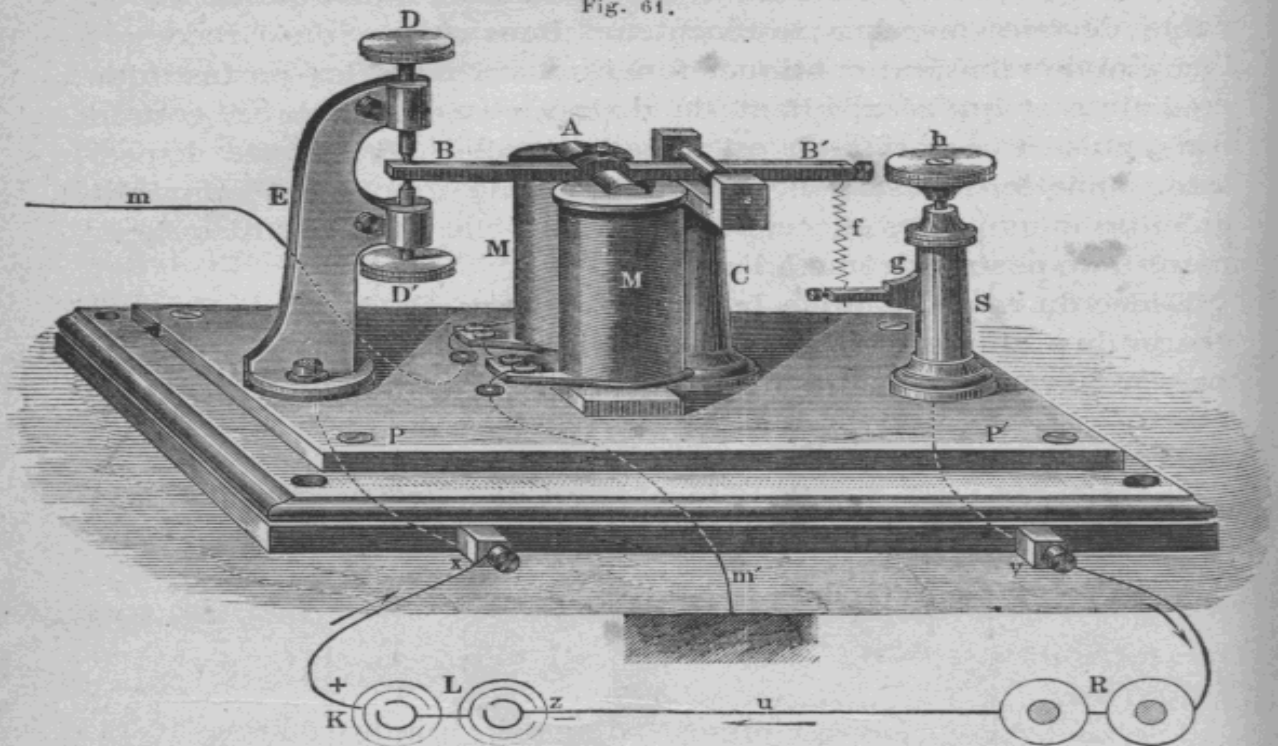


premier appareil électro-magnétique pour faire fonctionner au moyen du courant d'une pile locale le récepteur d'une station : *mm'* est l'électro-aimant de ligne, LB est la pile de ligne. Lorsque le courant attire l'armature *a*, le contact *c* ferme le circuit de la pile locale OB, et ce nouveau courant actionne les bobines A suivant une cadence réglée par les intermittences du courant sur la ligne.

Système Morse.

La *fig. 61* représente un relais Morse disposé pour l'impression dans les anciens récepteurs à pointe sèche. C'est avec peu de modifications l'appareil qui sert maintenant à la translation.

Fig. 61.



MM est un électro-aimant à spires très-nombreuses (7 à 8000), d'un fil de cuivre très-fin (diamètre $0^{\text{mm}},16$). La palette A de cet électro-aimant est vissée sur la tige d'un levier à deux bras BB', mobile entre deux trous pratiqués dans le support C. Sous l'influence d'un courant galvanique parcourant les spires de l'électro-aimant, celui-ci devient magnétique et attire l'armature : B s'abaisse et B' se relève.

Un ressort à boudin f , tendu entre le bout du levier B' et la tige g , relève la palette dès que le courant cesse. Dans cette position, l'écartement de l'armature et des pôles de l'électro-aimant est très-petit et ne dépasse pas l'épaisseur d'une feuille de papier ; en général cet écartement est réglé sur la force du courant qui traverse les bobines MM. On règle de même sur la puissance du courant la tension du boudin f .

La colonne S est en laiton et contient une vis h finement taillée, et fixée au pied de la colonne. La pièce g , qui retient le ressort à boudin, est mobile le long de cette colonne et présente un écrou à l'endroit où elle rencontre la vis h . Suivant que la vis est tournée à droite ou à gauche, elle produit un mouvement de la pièce g vers le

bas ou vers le *haut*, ce qui donne au ressort f une tension *plus forte* ou *plus faible*.

Le support en laiton E porte deux vis finement taillées DD', entre les pointes desquelles l'extrémité B du levier de l'ancre peut osciller. La pointe de la vis supérieure D est en ivoire, la vis D' est entièrement métallique. Le jeu entre les deux pointes de vis est très-petit et se règle sur l'intensité du courant dans les bobines MM. La vis inférieure D' est placée de façon que l'extrémité B se mette immédiatement au contact de la pointe lorsque l'armature se trouve attirée par les pôles de l'électro-aimant. Tant que le courant ne passe pas, le ressort f retient la palette au-dessus des pôles de l'électro-aimant, et l'extrémité B du levier est appuyée contre la pointe en ivoire de la vis supérieure.

Les montures en laiton ECS ne sont pas fixées immédiatement sur le plateau en bois PP', mais il y a entre chacune d'elles et ce plateau une petite plaque en ivoire, dans le but de les isoler les unes des autres. Des deux fils qui passent sous le plateau PP, l'un x est en communication métallique avec le support E, l'autre y , avec la colonne S.

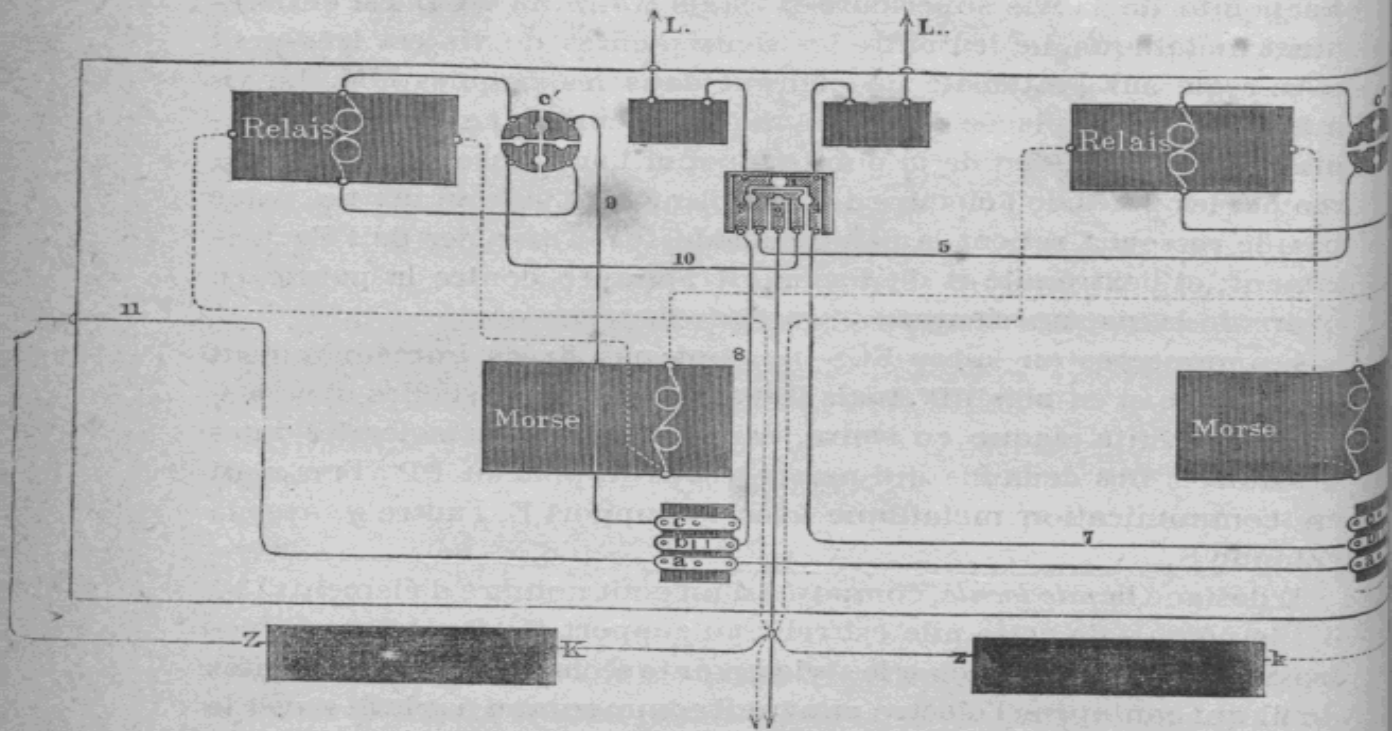
L désigne la *pile locale*, composée d'un petit nombre d'éléments (3 à 5); le pôle $+$ de cette pile est relié au support E; R désigne l'électro-aimant qui fait marcher le style à pointe sèche, l'une des extrémités du fil qui contourne l'électro-aimant R communique par le fil u avec le pôle de la pile locale, l'autre extrémité avec la colonne S par le fil y .

Les extrémités m , m' du fil entourant l'électro-aimant MM, sont reliées à la communication télégraphique principale, savoir: m avec le fil de ligne, et m' avec la terre.

Avec cette disposition, dès que l'armature est attirée, le bout B du levier vient au contact de la pointe de vis inférieure D', ce qui ferme le circuit de la pile locale. Le courant de cette pile circule instantanément dans la direction $+$, x , E, D'B, B', S, y , R, u , ainsi que l'indiquent les flèches. L'électro-aimant dans l'appareil R est fortement excité par le courant de la pile locale, et peut ainsi agir, avec le degré de force voulu sur son armature. Si au lieu de servir à actionner l'électro-aimant R, le courant de la pile locale est lancé sur la ligne, dans la direction qui fait suite au premier tronçon aboutissant au poste considéré, la translation sera effectuée, c'est-à-dire qu'on aura automatiquement remplacé le courant épuisé par un courant frais, capable de franchir une nouvelle distance.

La *fig. 62* montre comment dans les stations intermédiaires sont disposés les *deux* appareils Morse établis en translation. Au moyen du commutateur représenté au-dessous des galvanomètres, on voit

Fig. 62.



que si la fiche métallique est dans le trou supérieur, les deux conducteurs L_1 et L_2 sont mis en communication *directe*, en même temps que les deux relais de la station intermédiaire sont exclus du circuit. Le courant passe de L_1 par le premier galvanomètre dans le commutateur, et par la fiche dans le galvanomètre de gauche et le conducteur L_3 . Les signaux de la dépêche de passage et la fin de celle-ci sont accusés par les mouvements ou le repos de l'aiguille.

Si la fiche est posée dans le trou situé sur le prolongement vertical du premier, la station intermédiaire peut correspondre indifféremment d'une façon indépendante avec la droite ou avec la gauche. Un courant venu par L_1 , passe par le commutateur, de là dans le levier b du manipulateur, sur le contact d'arrière de celui-ci c et ensuite dans le relais de gauche de nouveau, puis dans le commutateur, et enfin à la terre, par la fiche. Le relais de gauche est affecté, et la station intermédiaire reçoit l'écriture de L_1 .

Si le poste veut correspondre avec la station desservie par cette ligne, il presse le manipulateur de gauche, ce qui ferme le circuit de la pile de ligne commune aux deux appareils. Le courant part du contact *a*, arrive dans levier *b*, puis au commutateur, traverse le galvanomètre et va sur la ligne L_1 . Il en est de même pour l'appareil de droite.

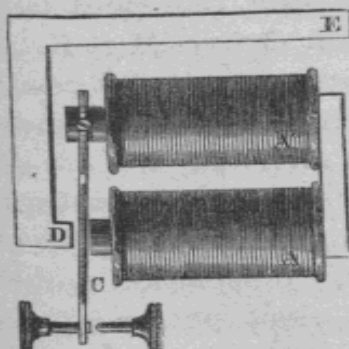
Enfin, si l'on place une fiche dans l'un des deux trous extrêmes de la ligne inférieure, on isole à volonté les relais de droite ou de gauche, de sorte que la correspondance de passage peut se lire sur l'un des deux appareils de la station intermédiaire. En effet, si nous considérons la position de la fiche à gauche, le courant venu par L_1 passe par le galvanomètre dans le commutateur, puis il va dans le relais de droite, dans le manipulateur, sur le contact de repos *c* et dans le levier *b*; il revient dans le commutateur, dans le galvanomètre de droite et dans la ligne L_2 jusqu'à l'autre station. La dépêche traverse donc la station intermédiaire, et l'un des relais étant mis en mouvement, cette station reçoit la dépêche.

Relais Siemens.

On cherche en général à construire des relais qui fonctionnent régulièrement malgré la variation qui peut se produire dans l'intensité du courant, et on leur applique à cet effet diverses dispositions. Nous en indiquerons ici une qui est très-usuelle.

Le ressort antagoniste des électro-aimants peut être remplacé

Fig. 63.



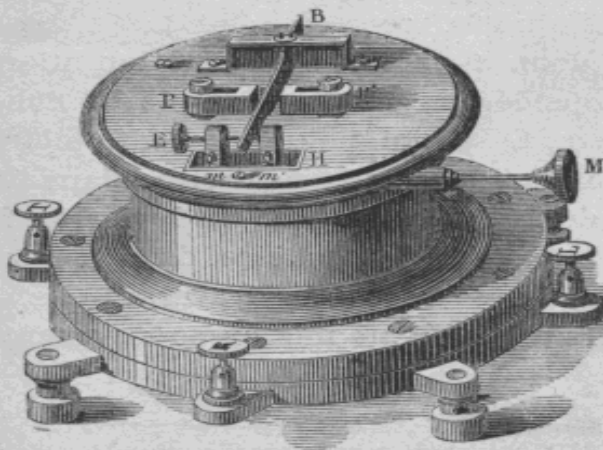
par un électro-aimant permanent qui agit par attraction sur l'armature au moment où le courant de la ligne est interrompu. Ainsi, par exemple, l'armature est, comme dans la *fig. 63*, articulée à l'extrémité d'une des branches *A'* de l'électro-aimant et placée en regard d'un aimant permanent *DE*. Le courant déterminera en *C* une aimantation contraire à celle du pôle *D*, et l'armature sera en conséquence attirée par la branche *A*. Dès que le courant ces-

sera, elle se trouvera rappelée par le pôle *D*.

Le relais Siemens a été construit d'après ce principe. La *fig. 64*

montre la disposition générale de cet appareil. Dans une boîte en cuivre se trouve un aimant permanent dont un des pôles, le pôle nord par exemple, sort en B. L'autre pôle, le pôle sud, est en communication avec les deux noyaux d'un électro-aimant qui émergent en P et P'; ces deux noyaux ont ainsi la même polarité magnétique. En B se trouve articulée une tige de fer doux à laquelle cette position donne une polarité contraire. L'extrémité de la tige

Fig. 64.



peut donc trouver, entre les deux branches P et P' et à égale distance de l'une et de l'autre, une position d'équilibre instable où elle peut rester. Si elle dépasse cette position, elle est attirée plus fortement par la branche la plus voisine, et vient s'appuyer contre l'un des buttoirs *mm'*. Cela étant donné, si un courant passe dans l'électro-aimant, il agit dans des sens contraires sur le magné-

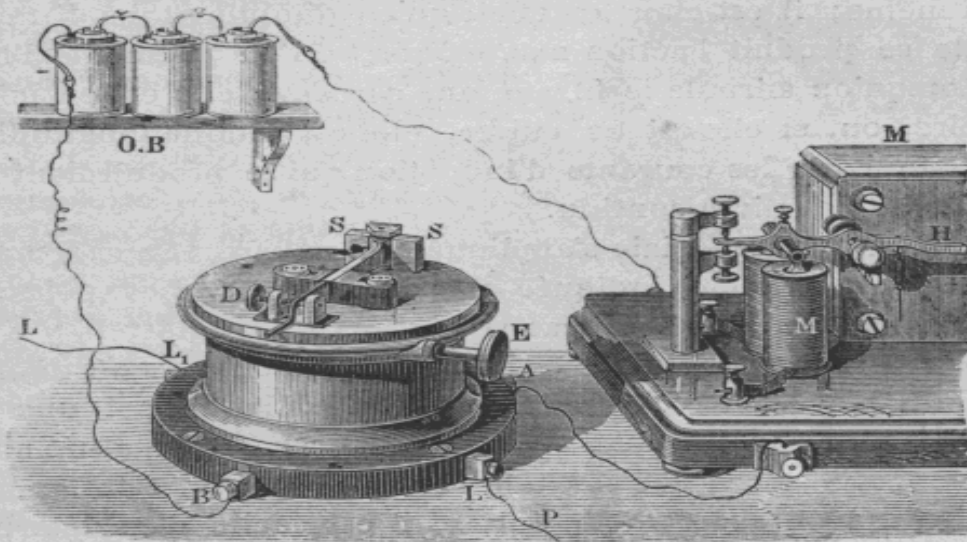
tisme des deux noyaux, augmente par exemple celui de P. La tige que nous supposons inclinée vers P se trouvera alors attirée par P' et ira s'appuyer contre le buttoir *m'*. Un courant de sens contraire produira l'effet inverse sur les noyaux, et la tige sera en conséquence portée contre le buttoir *m*. On voit donc que des courants alternatifs feront osciller la palette. On conçoit d'ailleurs que l'on puisse rendre l'appareil très-sensible en obligeant la palette à ne s'écarter que très-peu de sa position médiane. C'est ce que l'on peut faire en modifiant la position des buttoirs au moyen des vis M et E.

On peut, aussi à l'aide de ces mêmes buttoirs, obtenir des résultats d'un autre ordre et très-importants. On vient de voir comment l'appareil fonctionne par l'action des courants alternatifs. Il est désirable évidemment qu'on puisse s'en servir en n'employant que des courants de même sens. C'est cet effet que l'on réalise en donnant au chariot H qui porte les buttoirs une disposition convenable. Qu'on imagine la ligne axiale qui de B vient passer à égale distance de P et de P'; si la tige est obligée de rester constamment d'un même côté de cette ligne, l'attraction du pôle correspondant sera toujours prépondérante, et après avoir été repoussée au mo-

ment[de l'émission du courant, la tige reviendra sans courant contraire vers le pôle qui l'attire. On voit ainsi qu'en agissant au moyen de la vis M sur le chariot H, on peut disposer le relais Siemens de manière qu'il fonctionne soit avec des courants qui changent alternativement de sens, soit avec des courants qui conservent toujours la même direction.

La *fig. 65* représente l'installation d'un relais Siemens en rela-

Fig. 65.



tion avec un récepteur Morse et une pile locale. Cette disposition était usitée avec les anciens appareils à pointe sèche.

Après le relais Siemens il y aurait lieu de citer un assez grand nombre d'appareils, où le jeu des aimants permanents se combine avec celui des bobines électriques; mais nous laisserons ce sujet pour donner seulement quelques indications sur les dimensions et les formes généralement adoptées par les constructeurs d'électro-aimants. On est amené, en effet, quand on considère un si grand nombre de bobines qui fonctionnent dans des appareils de toutes sortes, à se demander s'il y a une forme et des dimensions qui contribuent à leur donner leur maximum d'effet.

Il est à remarquer, dit M. Saigey, dans le Rapport qu'il a publié à l'occasion de l'Exposition de 1867, que la plupart des constructeurs se rapprochent, soit par calcul, soit par hasard, des proportions suivantes, qui ont été indiquées, à la suite d'une série d'expériences récentes, comme constituant les conditions les plus

favorables. Les noyaux cylindriques de fer doux (qu'on fait creux depuis longtemps), ayant 1 centimètre de diamètre, doivent avoir 1^{mm},5 d'épaisseur et 5 centimètres de longueur. Si la même masse de fer doux est autrement répartie, l'effet est moindre. Si, à un noyau construit comme il vient d'être dit, on ajoute latéralement une petite masse de fer, on diminue encore l'effet. En ce qui concerne l'ensemble de la bobine, beaucoup de constructeurs enroulent maintenant directement le fil recouvert sur le noyau même; il est clair, en effet, qu'en diminuant la distance à laquelle se produit l'action magnétique, on en augmente l'intensité. Lorsqu'on enroule le fil sur une carcasse, elle est en bois ou en ivoire, ou, si elle est en cuivre, elle est fendue longitudinalement pour éviter les courants d'induction qui se produiraient dans un cylindre de cuivre continu.

Une disposition spéciale s'applique aux noyaux et aux armatures aimantées : elle a été indiquée par M. Hughes. Les pôles d'un noyau magnétique ne sont pas situés aux extrémités. Il y a donc avantage à recourber le bout du barreau de telle façon qu'il présente son pôle même à l'armature; on obtient ainsi une force attractive plus considérable. En ce qui concerne l'armature aimantée, il est utile aussi que ses pôles se trouvent rigoureusement en face de ceux de l'électro-aimant, et il est facile d'en déterminer les dimensions de telle sorte que ce résultat soit atteint.

En appliquant ces principes aux électro-aimants à noyaux et à armatures aimantées, on a obtenu des résultats surprenants. C'est ainsi que M. Hughes a pu faire fonctionner son appareil avec une résistance de 500 à 600 kilomètres, en employant pour force électromotrice celle que donnent une petite lame de cuivre et une lame de zinc placées sur la langue de l'expérimentateur ou même une pièce d'or et une pièce d'argent plongées dans l'eau pure.

DEVIS D'UN POSTE.

Pour compléter l'énumération des divers appareils constituant un poste télégraphique, nous donnerons ci-dessous une série de prix détaillée comprenant le matériel et les accessoires utilisés dans une station télégraphique. Il sera facile de faire l'application à chaque cas particulier et de se rendre compte de la dépense à effectuer.

Matériel et accessoires d'un poste télégraphique.

DÉSIGNATION DES OBJETS.	UNITÉ.	PRIX.
		fr. c.
Tubes en porcelaine coudés (grand modèle) avec plaques et vis.	Nombre.	1,50
Tubes en porcelaine coudés (petit modèle) avec plaques et vis.	<i>id.</i>	1,25
Manchons en caoutchouc.	<i>id.</i>	0,35
Clous galvanisés pour un câble.	<i>id.</i>	0,03
Clous galvanisés pour deux câbles.	<i>id.</i>	0,05
Bornes à contre-écrou sur plaques en ébonite, petit modèle. . .	<i>id.</i>	1,40
Plots en laiton avec rondelles en ébonite.	<i>id.</i>	0,50
Bouteilles d'huile fine.	<i>id.</i>	0,21
Grands cavaliers.	Kilogr.	2,25
Petits cavaliers.	<i>id.</i>	2,75
Commutateurs bavarois à deux fils.	Nombre.	4,85
Commutateurs bavarois à quatre fils.	<i>id.</i>	7,00
Commutateurs inverseurs.	<i>id.</i>	10,00
Fil de cuivre de 2 millimètres.	Kilogr.	4,00
Fil de cuivre recouvert de soie.	<i>id.</i>	10,75
Galvanomètres.	Nombre.	9,00
Papier-bande de 10 millimètres.	Kilogr.	1,50
Paratonnerres à une bobine, sans pointes.	Nombre.	14,50
Bobines de paratonnerres.	<i>id.</i>	1,30
Fil de fer ténu pour paratonnerre.	Kilogr.	70,00
Vis à pointe pour paratonnerre.	Nombre.	0,90
Paratonnerres à pointes et à lame de gutta-percha.	<i>id.</i>	20,00
Paratonnerres Bertsch.	<i>id.</i>	26,00
Appareils Hughes, avec chiffres.	<i>id.</i>	1 500,00
Bouteilles d'encre oléique.	<i>id.</i>	0,25
Pinceaux pour encre oléique.	<i>id.</i>	0,17
Parleurs à relais.	<i>id.</i>	22,00
Rappels par inversion de courant.	<i>id.</i>	28,00
Manipulateurs à cadran, sans commutateur.	<i>id.</i>	39,00
Récepteurs à cadran.	<i>id.</i>	121,00
Manipulateurs Morse.	<i>id.</i>	15,50
Récepteurs Morse, à molette, sans relais, à moyenne résistance.	<i>id.</i>	235,00
Tampons pour récepteurs à molettes.	<i>id.</i>	3,00
Rouets.	<i>id.</i>	12,00
Chariots Hughes (nouveau modèle).	<i>id.</i>	28,00
Sonneries à trembleur, à moyenne résistance.	<i>id.</i>	24,00
Tige vibrante en acier, à hélice.	<i>id.</i>	5,00
Tambour d'impression (10 millimètres).	<i>id.</i>	5,50
Serre-lames en cuivre.	<i>id.</i>	0,70
Vases en verre, grand modèle.	<i>id.</i>	0,55
Vases en verre, renforcés.	<i>id.</i>	0,37
Vases en verre Leclanché.	<i>id.</i>	0,23
Vases poreux.	<i>id.</i>	0,13

DÉSIGNATION DES OBJETS.	UNITÉ.	PRIX.
		fr. c.
Vases poreux pour pile Marié-Davy.	Nombre.	0,11
Vases poreux Leclanché, garnis avec zincs et charbons solidaires.	<i>id.</i>	1,10
Zincs et charbons à queue allongée (Marié-Davy).	<i>id.</i>	1,42
Zincs Callaud (petit modèle).	<i>id.</i>	0 67
Zincs Callaud (grand modèle).	<i>id.</i>	1,05
Chlorhydrate d'ammoniaque.	Kilogr.	1,00
Sulfate de cuivre.	<i>id.</i>	0,68
Sulfate d'oxydure de mercure.	<i>id.</i>	6,00
Portefeuilles de facteurs (nouveau modèle).	Nombre.	11,40
Journaux à souche (A. 1) des recettes en numéraire.	<i>id.</i>	3,50
Registres des remboursements.	<i>id.</i>	0,50
Registres pour mandats télégraphiques.	<i>id.</i>	2,00
Recueil administratif (par volume).	<i>id.</i>	4,00
Timbres.	<i>id.</i>	5,00
Timbres à caractères mobiles, complets.	<i>id.</i>	13,50
Timbres à caractères mobiles, sans date.	<i>id.</i>	9,00
Cachets à cire.	<i>id.</i>	3,50
Boîtes avec tampon.	<i>id.</i>	3,25
Tampons-brosses.	<i>id.</i>	1,50
Brosses à tampon.	<i>id.</i>	0,10
Blocs au millésime de l'année.	<i>id.</i>	0,19
Blocs de mois (série complète).	<i>id.</i>	2,00
Blocs de jours (série complète).	<i>id.</i>	6,00

CHAPITRE V.

APPAREILS PERFECTIONNÉS.

APPAREILS A CADRAN ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.

On a eu depuis longtemps l'idée d'utiliser dans les cadrans la rotation de la manivelle pour produire des courants d'induction, de manière à éviter l'emploi des piles. Dans les appareils construits d'après ce principe, la manivelle, en passant d'une lettre à la suivante, fait mouvoir une bobine électro-magnétique en face d'un aimant fixe, ou réciproquement. Tels sont, par exemple, les appareils déjà anciennement connus de M. Siemens et de M. Wheatstone.

Appareil Siemens.

L'appareil de M. Siemens fonctionne sur les chemins de fer allemands; la machine électro-magnétique se compose d'une série d'aimants permanents réunis au moyen d'une semelle en fer par leurs pôles de même nom. En regard de ces aimants se meut un cylindre de fer doux présentant à peu près la forme d'un H, dont le bras central est entouré d'un fil recouvert. Le mouvement de la manivelle commande celui du cylindre de fer doux au moyen d'un pignon denté, de telle sorte que dans l'intervalle d'une lettre à l'autre, il y ait une demi-révolution des cylindres, et, par conséquent, un courant envoyé sur la ligne. Les courants produits de cette façon sont instantanés, ainsi que tous les courants d'induction. On ne peut donc pas, comme avec les récepteurs ordinaires, utiliser l'envoi et l'arrêt du courant pour faire avancer l'aiguille de deux divisions; il faut pour chaque lettre une émission spéciale. C'est là une particularité commune à tous les cadrans électro-magnétiques.

Appareil Wheatstone.

La Compagnie de télégraphie privée qui fonctionnait à Londres, avant l'annexion du service au Post-Office, utilisait l'appareil de M. Wheatstone, représenté par les *fig. 66* et *67* (manipulateur et récepteur).

Fig. 66.

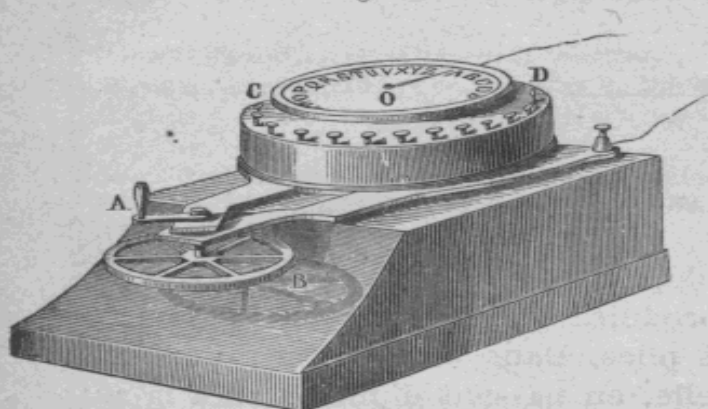
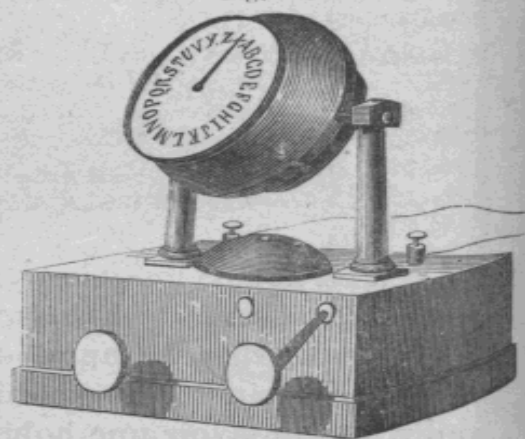


Fig. 67.



Le courant développé par l'appareil Siemens, qui vient d'être indiqué, varie d'intensité suivant la vitesse imprimée aux parties mobiles. Or, la main qui guide la manivelle est portée à faire varier cette vitesse, non-seulement d'une transmission à l'autre, mais dans le même tour; il y a un ralentissement naturel au moment où l'on marque chaque lettre. M. Wheatstone a évité cet inconvénient en rendant la formation des courants indépendante de celle des signaux. Son manipulateur se compose d'une roue B qu'on met en mouvement au moyen d'une manivelle A et d'un cadran CD muni de touches où sont inscrites les lettres de l'alphabet. Au milieu de ce cadran tourne une aiguille indicatrice O.

D'une main, on donne à la manivelle A un mouvement continu et uniforme pendant toute la transmission; de l'autre, on abaisse successivement les touches qui représentent les lettres à transmettre. Lorsque aucune touche n'est abaissée, le mouvement de la manivelle se transmet indéfiniment à l'aiguille O, et celle-ci commande l'envoi des courants induits qui font mouvoir l'aiguille du récepteur; les deux aiguilles marchent donc indéfiniment d'accord. Lorsqu'on vient à abaisser une touche, l'aiguille O cesse d'être conduite par la

roue B, le courant n'est plus envoyé sur la ligne, et l'aiguille du récepteur s'arrête également. Dès que la touche se relève, le mouvement de la première aiguille, et, par conséquent celui de la seconde, recommence.

Pour qu'on n'ait pas à relever les touches après la transmission de chaque lettre, M. Wheatstone a disposé l'appareil de manière qu'une seule touche puisse être abaissée et que chacune se relève spontanément dès qu'on appuie le doigt sur une nouvelle. A cet effet, toutes les touches reposent sur une petite chaîne sans fin portée par des poulies. La chaîne est assez lâche pour qu'une touche puisse s'abaisser en la faisant fléchir; mais alors elle se trouve tendue, et, si l'on abaisse une seconde touche, la chaîne ne peut céder qu'en relevant la première.

Le récepteur de M. Wheatstone a de très-petites dimensions. Le cadran où sont marquées les lettres, et au centre duquel tourne une aiguille très-fine, ressemble à une grosse montre. En raison de la faible masse de l'aiguille, on peut supprimer le mouvement d'horlogerie. Une armature légère, formée de deux petites tiges aimantées, se meut entre deux électro-aimants et commande directement, au moyen d'une roue à rochet, la rotation de l'aiguille indicatrice.

APPAREILS IMPRIMEURS.

L'appareil Morse traduit la dépêche par des signaux de convention qui ne ressemblent point à l'écriture usuelle. On a demandé au télégraphe de réaliser tout entière l'idée de Gutenberg, de là sont venus les *systèmes imprimeurs*.

Les appareils de ce genre comportent essentiellement :

1° Une roue tournant en face d'une bande de papier et portant en relief tous les caractères de l'alphabet, imprégnés d'encre par le frottement contre un tampon humide;

2° Un marteau qui agit au moment où la lettre à imprimer a pris la position convenable, et qui presse, soit la roue sur le papier, soit le papier sur la roue.

Cet organe porte ordinairement le nom de *roue des types* et le marteau celui de *levier imprimeur*.

La roue peut être mise en mouvement à distance par des courants successifs, et l'on peut l'arrêter dans les positions convenables, de la même manière qu'on arrête l'aiguille d'un cadran. Quand elle est

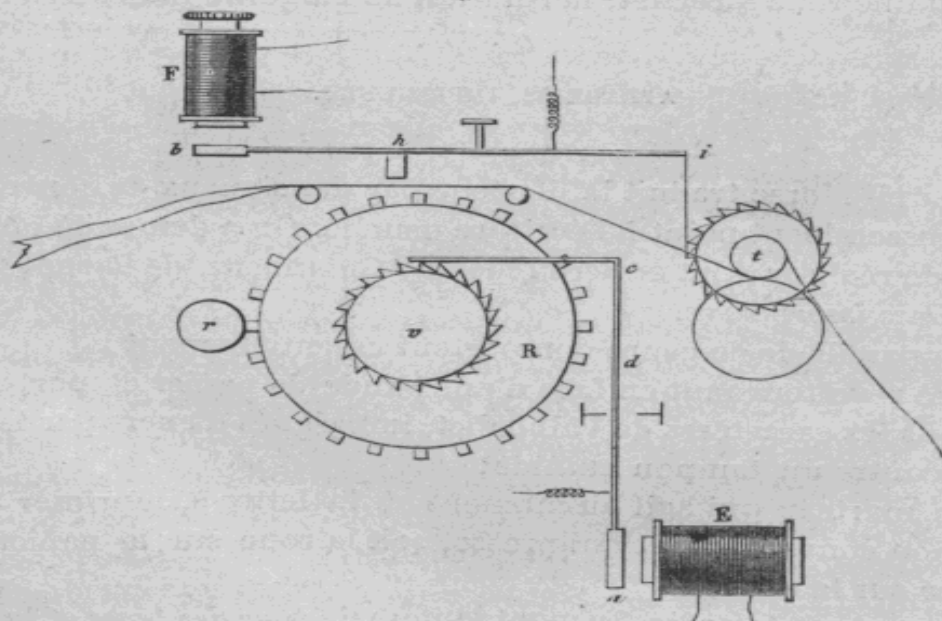
arrêtée par l'impression d'une lettre, il faut qu'un courant différent des autres, soit par sa nature, soit par son intensité, vienne déclencher le levier imprimeur. Les appareils construits d'après ce principe s'appellent *appareils imprimeurs à échappement*.

Il y a une autre solution. On peut concevoir deux roues semblables tournant aux deux extrémités d'une ligne, de telle manière que leurs caractères se trouvent toujours semblablement placés. L'office du courant se borne alors à faire marcher le levier imprimeur quand la lettre à imprimer a été amenée en face de lui. Les appareils de cette seconde catégorie peuvent être nommés *appareils imprimeurs à mouvement synchronique*.

Les premiers sont plus simples, les seconds permettent une transmission plus rapide. Nous indiquerons sommairement le principe des appareils à échappement, nous décrirons ensuite avec quelques détails le plus perfectionné des appareils à mouvement synchronique, l'*appareil Hughes*.

Si l'on se reporte à la *fig. 68*, on y trouvera les organes fonda-

Fig. 68.



mentaux d'un imprimeur à échappement. L'électro-aimant E fait tourner la roue à rochet *v* et la roue des types R fixée au même axe. Les caractères frottent en tournant contre un tampon *r* imprégné d'encre. F est l'électro-aimant imprimeur, *h* le petit marteau qui

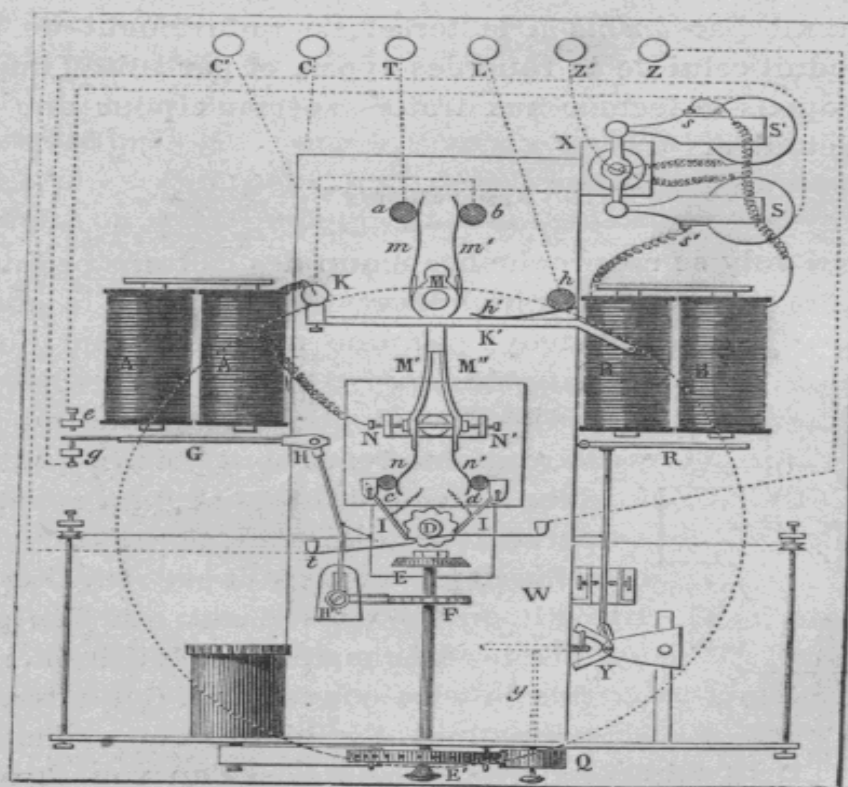
presse le papier contre la roue des types. On voit enfin en *t* le mécanisme qui sert à faire avancer le papier d'une longueur constante pour chaque lettre imprimée ; le papier passe entre les deux lami-noirs dont l'un tient à une roue dentée, le mouvement de cette roue est commandé par le cliquet *i* et elle avance d'un cran pour chaque oscillation du levier imprimeur.

Appareil d'Arlicourt.

La *fig. 69* représente cet appareil dans ses parties essentielles.

Le manipulateur est un clavier circulaire à vingt-huit touches. Au centre tourne une aiguille indicatrice fixée sur un axe vertical ; on

Fig. 69.



l'arrête en abaissant une touche comme dans l'appareil Wheatstone qui a été décrit plus haut. Un mouvement d'horlogerie fait tourner l'axe D, et celui-ci entraîne, au moyen d'une roue d'angle E, l'axe horizontal qui porte la roue des types E'.

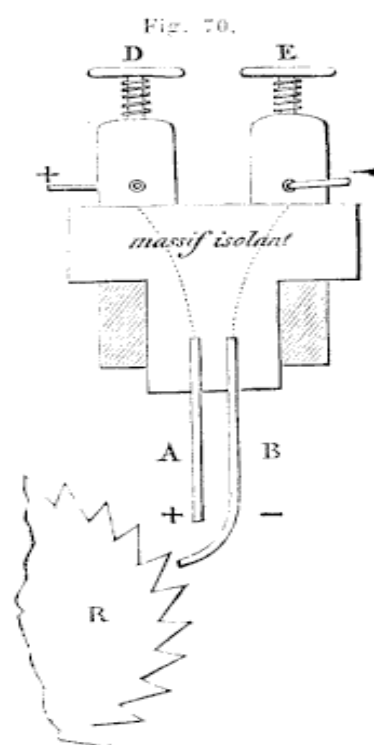
L'appareil d'Arlicourt est disposé pour que la dépêche s'imprime

au bureau d'expédition comme au poste qui reçoit. A cet effet, la rotation de l'arbre D fait passer à la fois un courant sur la ligne et dans l'électro-aimant AA, qui, au moyen de l'armature G, de la fourchette H et de la roue d'échappement F, règle la rotation de la roue des types.

Une sorte de commutateur MMM' sert à distinguer la position de réception de celle de transmission. Ce commutateur a quatre branches qui s'appuient sur les quatre bornes *a, b, c, d*, dont la borne *b* est seule métallique dans toute sa hauteur, tandis que les trois autres, métalliques à leur partie supérieure, sont isolantes à leur partie inférieure. Lorsque le commutateur est dans sa position normale, l'appareil est en mesure de recevoir, et le courant de la ligne, pénétrant par *h* et *h'* et le massif NN', va traverser l'électro-aimant AA, sort par K et se rend par *bm'ma* à la terre. Le mouvement de l'électro-aimant produit celui de la roue des types, et par suite l'impression. Nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux pour une description plus détaillée.

Appareil Joly.

L'appareil Joly se rapproche beaucoup des cadrans ordinaires. Le



manipulateur est identique; le courant est envoyé par une manivelle que l'on arrête dans des crans.

Dans le récepteur, l'aiguille indicatrice et la roue des types sont placées sur le même axe. La roue des types est en avant de l'appareil, l'aiguille indicatrice et son cadran à l'arrière; on les voit par réflexion dans un petit miroir grossissant que l'on peut faire tourner à la main pour lui donner la position la plus convenable. Cette disposition a pour objet d'éviter les roues d'angle, qu'il faudrait employer si l'on voulait que le cadran fût horizontal. Si on le plaçait verticalement à l'avant de l'appareil, il masquerait la roue des types. Le courant agit sur ce mécanisme à la façon ordinaire, au moyen d'une double palette et d'une roue d'échappement.

Le principe de l'impression est celui-ci :

tant que la roue des types tourne avec une certaine vitesse, elle laisse ouvert le circuit d'une pile locale: quand au contraire elle s'arrête un instant, le circuit se ferme et le marteau d'impression vient appuyer le papier contre le caractère à imprimer. Le mécanisme au moyen duquel ce résultat est obtenu est des plus simples et constitue la particularité la plus saillante de l'appareil. Il est représenté par la *fig. 70* ci-dessus. Les deux pôles de la pile locale arrivent devant une roue à rochet R calée sur l'axe de la roue des types, un peu en arrière de cette roue. Chacun des pôles aboutit à un ressort; l'un A est fixe, l'autre B est mobile et recourbé à sa partie inférieure. Quand la roue des types est au repos, ou quand elle vient à s'arrêter un moment, le ressort B pénètre dans l'une des entailles à rochet; il touche alors le ressort A et laisse passer le courant imprimeur. Lorsque la roue tourne d'une façon continue, le ressort courbe est chassé par une série de petits choes et le circuit de la pile locale reste ouvert. L'impression est d'ailleurs commandée par un second mécanisme d'horlogerie que le courant local déclanche au moment voulu. La pile locale peut donc être très-faible: elle ne se compose que de deux ou trois éléments Daniell.

Appareil Hughes.

La lenteur de la transmission, dans les appareils imprimeurs ordinaires, tient au grand nombre d'émissions de courant qui est nécessaire pour passer d'une lettre à une autre. Cet obstacle est habilement tourné dans l'appareil Hughes qui frappe la lettre à imprimer, pour ainsi dire au *col*, c'est-à-dire au moment où, suivant la rotation de la roue des types, elle passe à un repère fixe.

Les *fig. 71* et *72* représentent en perspective et en plan l'appareil Hughes. La dépêche est en quelque sorte jouée sur les touches d'un clavier portant les lettres de l'alphabet et correspondant à des goujons disposés circulairement sous le disque N. Un poids attaché à la roue Z sert de moteur et transmet le mouvement par les mobiles 1, 2 et 3 à trois axes distincts.

Sur l'un de ces axes est fixée la roue des types H; le second axe, qui constitue le manipulateur, est vertical et porte un levier horizontal ou chariot *g*, qui se meut avec la même vitesse angulaire que la roue des types au-dessus du disque N. Ce disque est percé de trous à travers lesquels passent les goujons qui sont en relation avec

Fig. 71.

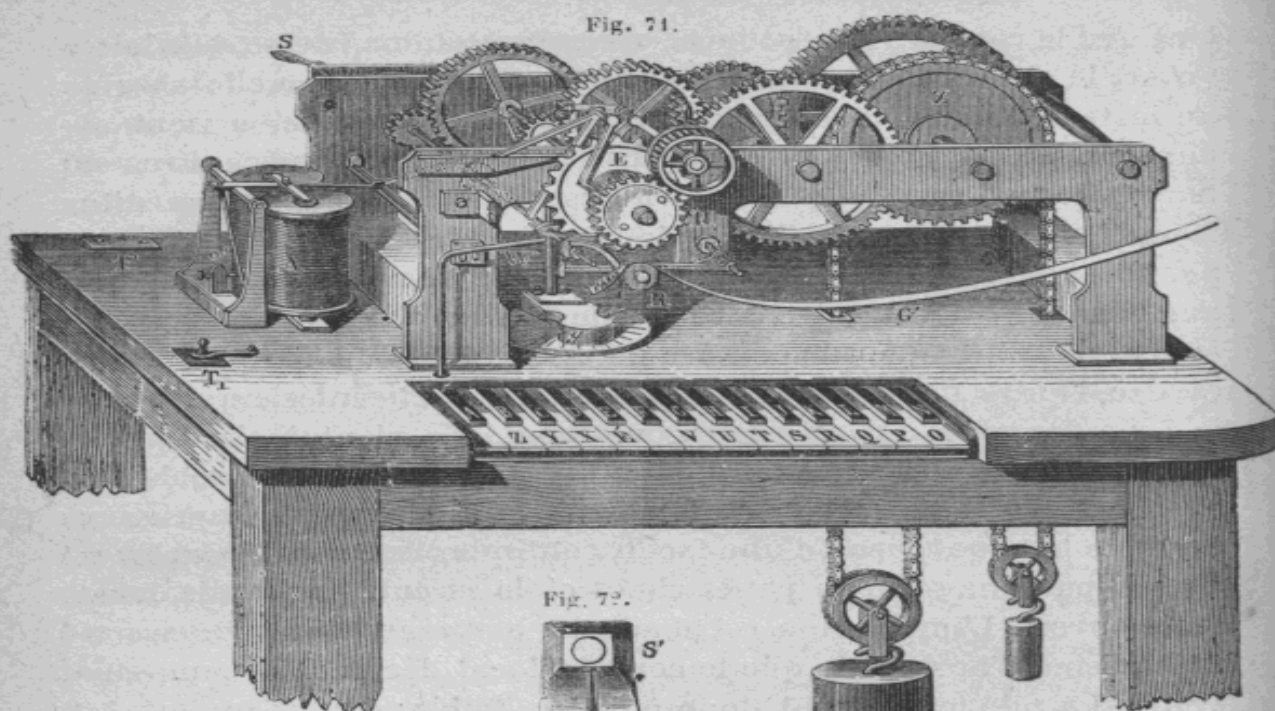
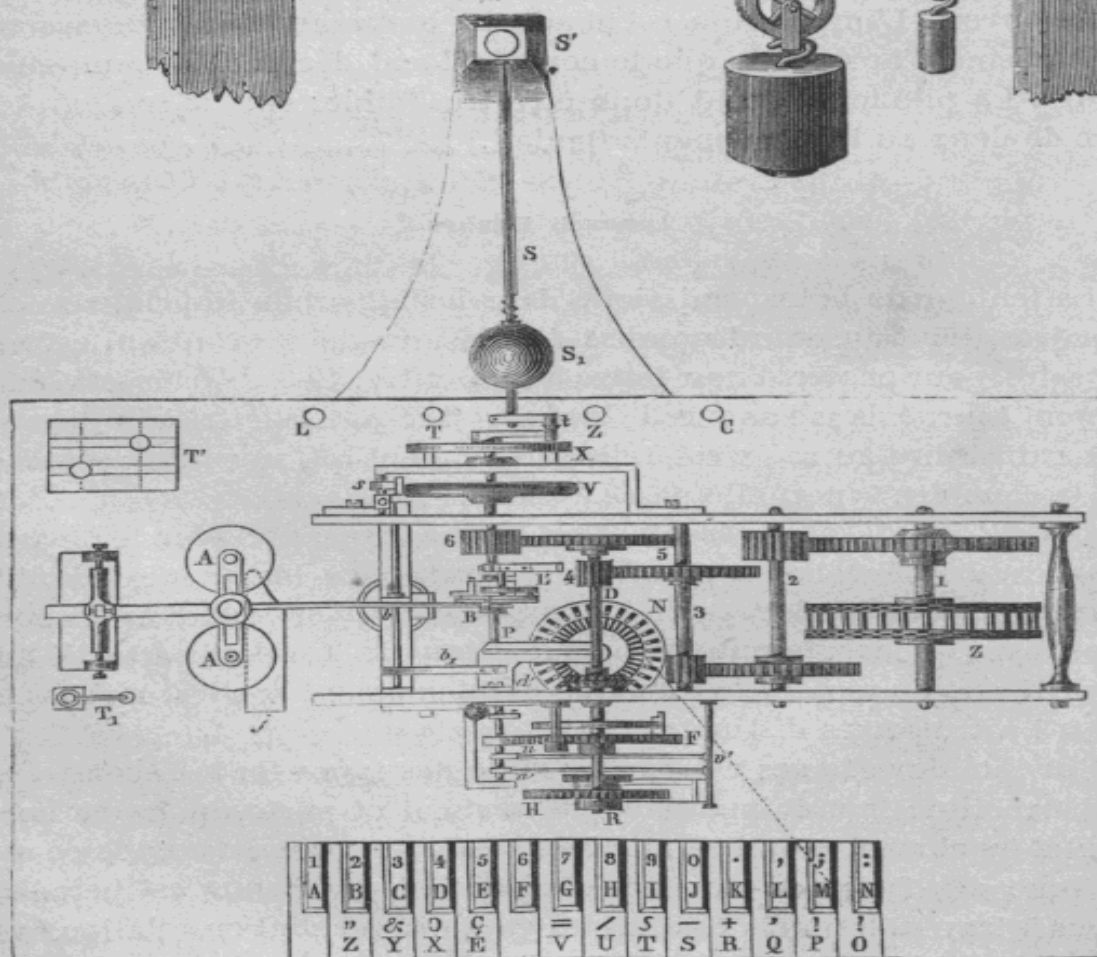


Fig. 72.



le clavier; les goujons sont reliés au pôle de la pile et le chariot au fil de la ligne. Quand on abaisse une touche, le goujon correspondant se soulève, et, au moment où il est rencontré par le chariot, envoie un courant au poste correspondant. Le troisième axe qui reçoit son mouvement de la roue Z est l'axe P destiné à produire l'impression; il n'est mis en mouvement qu'au moment où le courant traverse l'électro-aimant. Il porte des cames dont l'une soulève un petit marteau cylindrique et l'applique contre la roue des types.

Le mouvement du marteau imprimeur étant intermittent, devrait troubler ceux de la roue des types et du chariot; mais cet effet est évité par l'addition d'un volant *e*, qui emmagasine la force vive, et d'un régulateur à lame vibrante *ss'*. L'impression a lieu d'ailleurs au point de départ comme au point d'arrivée, de telle sorte que les deux appareils restent toujours dans les mêmes conditions mécaniques.

Mais il faut, comme il a été dit précédemment des dispositions spéciales pour que le synchronisme puisse être maintenu entre les mouvements des deux roues des types, car de très-légères différences accumulées à chaque tour finiraient par produire un désaccord. Pour éviter cet inconvénient, la roue des types n'est pas calée sur son axe, elle peut se déplacer sur elle-même au moment où l'axe imprimeur soulève le marteau. Une came spéciale s'engage entre les dents d'une roue F, dite roue *correctrice*, qui tient à la roue des types, et fait avancer ou reculer cette dernière sans rompre sa liaison avec le rouage moteur, de façon à placer le caractère juste en face du marteau. La concordance entre les deux appareils se trouve ainsi rétablie à chaque impression, pourvu que l'écart ne dépasse pas la moitié de l'espace qui sépare deux lettres. Les deux appareils tournant synchroniquement, il peut arriver telle circonstance accidentelle qui rompe l'accord. Il importe qu'on puisse le rétablir sans arrêter le moteur aux deux stations, car le mouvement n'est régulier et uniforme qu'au bout de quelques instants. Pour obtenir ce résultat, la roue des types peut être arrêtée isolément dans une position fixe, au moment où le caractère qui correspond au *blanc* se trouve au-dessus du marteau; le premier courant qui arrive alors dans l'électro-aimant met la roue en prise avec le moteur. On a soin de commencer chaque transmission par l'abaissement de la touche du *blanc*; les roues des deux stations se trouvent ainsi partir du même point.

L'électro-aimant AA qu'emploie M. Hughes diffère sensiblement des électro-aimants ordinaires. M. Hughes se sert d'un aimant per-

manent en fer à cheval, dont chaque branche est surmontée d'un cylindre de fer doux entouré de fil recouvert ; à la partie supérieure de ce système vient s'appliquer une petite armature de fer doux a qu'un ressort de rappel a' tend à relever. Lorsque aucun courant ne passe dans les bobines, l'armature est maintenue abaissée par le magnétisme dû à l'aimant permanent ; mais si un courant traverse le fil des bobines, de manière à y développer une aimantation contraire à celle de l'aimant, l'armature a devient libre, et obéissant à son ressort a' vient soulever le levier b B et faire ainsi agir le mécanisme imprimeur.

Les principaux organes de l'appareil Hughes décrits, on peut en concevoir le jeu d'une manière générale. On voit comment deux chariots se meuvent synchroniquement aux deux stations ; on comprend comment une touche abaissée au départ peut soulever un goujon, envoyer un courant sur la ligne et produire l'impression à l'arrivée.

Jusqu'ici nous n'avons parlé que de la transmission des lettres, mais l'appareil Hughes imprime aussi les chiffres et un certain nombre de signes conventionnels comme les signes de ponctuation. M. Hughes est arrivé à ce résultat par une disposition ingénieuse, sans porter au delà de vingt-huit le nombre des touches de l'appareil. Le nombre des dents de la roue correctrice reste également fixé à vingt-huit. Mais la roue des types est partagée en cinquante-six divisions ; celles de rang pair portent les lettres, celles de rang impair portent les chiffres et les signes divers qui sont inscrits sur le clavier *fig. 72*. Ainsi, à côté de chacune des lettres, est placé sur la roue le chiffre ou le caractère inscrit sur la même touche du clavier. La roue, dans son jeu ordinaire, tourne toujours par fraction de $1/28$ de tour et une lettre succède à une lettre ; mais à certains moments, on peut, par une manœuvre spéciale, la déplacer de $1/56$ de tour ; on passe alors à la série des chiffres et des signes, et tant qu'on y reste ce sont les chiffres et les signes qui viennent se placer en face du marteau. Une manœuvre analogue permet de revenir à la série des lettres.

On livre au public les bandes mêmes sur lesquelles a eu lieu l'impression. Ces bandes sont coupées en fragments de longueur convenable et collées sur une feuille de papier. Nous ne croyons pas devoir donner les spécimens d'une transmission avec ce genre d'appareil ; tout le monde a reçu, aujourd'hui, des télégrammes de cette nature.

Sur les lignes de 400 à 500 kilomètres, on peut passer jusqu'à 55 à 60 dépêches de vingt mots par heure; l'appareil Morse fournit à peu près la moitié de ce nombre.

APPAREILS AUTOGRAPHIQUES.

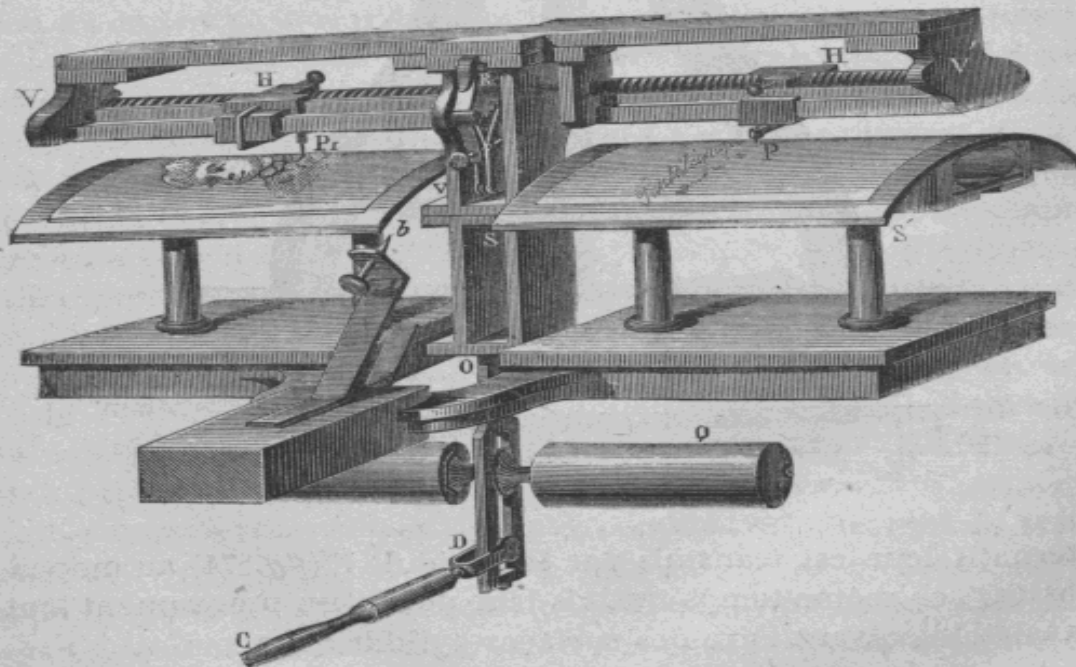
Appareil Caselli.

Ce télégraphe est apte à reproduire des dessins et par suite le *fac-simile* de l'écriture; sous cette forme il est dit *autographique*. L'appareil Caselli est le premier en date.

Au départ, un stylet de fer parcourt la surface d'une feuille d'étain sur laquelle la dépêche a été écrite avec une encre isolante. A l'arrivée une autre pointe parcourt un papier qui a été imprégné d'une solution de *cyanure jaune de potassium*. Sous l'action du courant la pointe forme sur le papier un cyanure double de fer et de potassium, qui est le *bleu de Prusse*; une série de traces bleues reproduit dans son ensemble la dépêche originale.

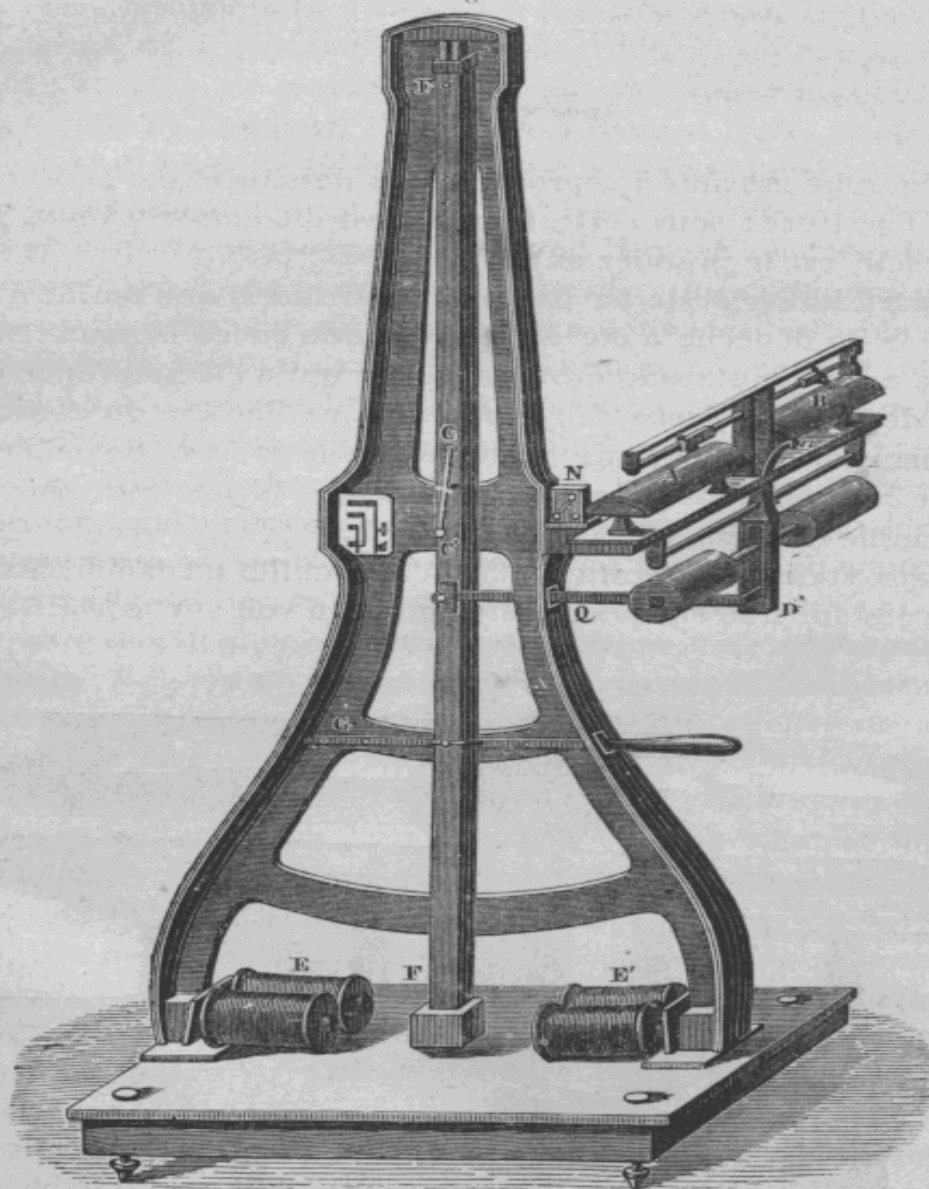
Aux deux stations la feuille d'étain et la feuille de papier chimique sont placées sur une surface cylindrique. On voit sur les *fig. 73* et *74*

Fig. 73.



cette double disposition, chaque poste étant monté à la fois pour expédier et pour recevoir. Les pointes parcourent les surfaces cylindriques en décrivant une série d'arcs parallèles ; le mouvement

Fig. 74.



alternatif leur est transmis par le pendule F (*fig. 74*) au moyen du bras QQ', en même temps une vis leur donne un mouvement lent de translation suivant l'axe des surfaces cylindriques.

Pour que le système fonctionne, il faut que les deux pendules F aux deux stations correspondantes aient des mouvements *synchrones*. Chaque pendule F a une masse assez considérable ; pour obtenir un bon réglage on a recours à un petit pendule BB' représenté dans la *fig. 75*. Cet appareil reçoit le mouvement d'un mécanisme d'horlogerie à poids A, et vient frapper dans son oscillation une lame à ressort qu'on peut tendre à l'aide d'une vis D.

Le pendule F se termine par une masse de fer qui oscille entre les deux électro-aimants EE' : ces électro-aimants sont animés par une pile locale dont le circuit est fermé par le pendule moteur un instant avant la fin de chaque oscillation simple. La masse de fer achève ainsi chacune de ses oscillations sous l'influence d'un électro-aimant qui la retient dans cette position extrême jusqu'au moment où le circuit est rompu. Cette rupture du circuit est opérée par le pendule régulateur BB' à la fin de chacune de ses doubles oscillations. Ainsi le moteur ne quitte jamais sa position extrême qu'au moment où le régulateur termine sa double oscillation.

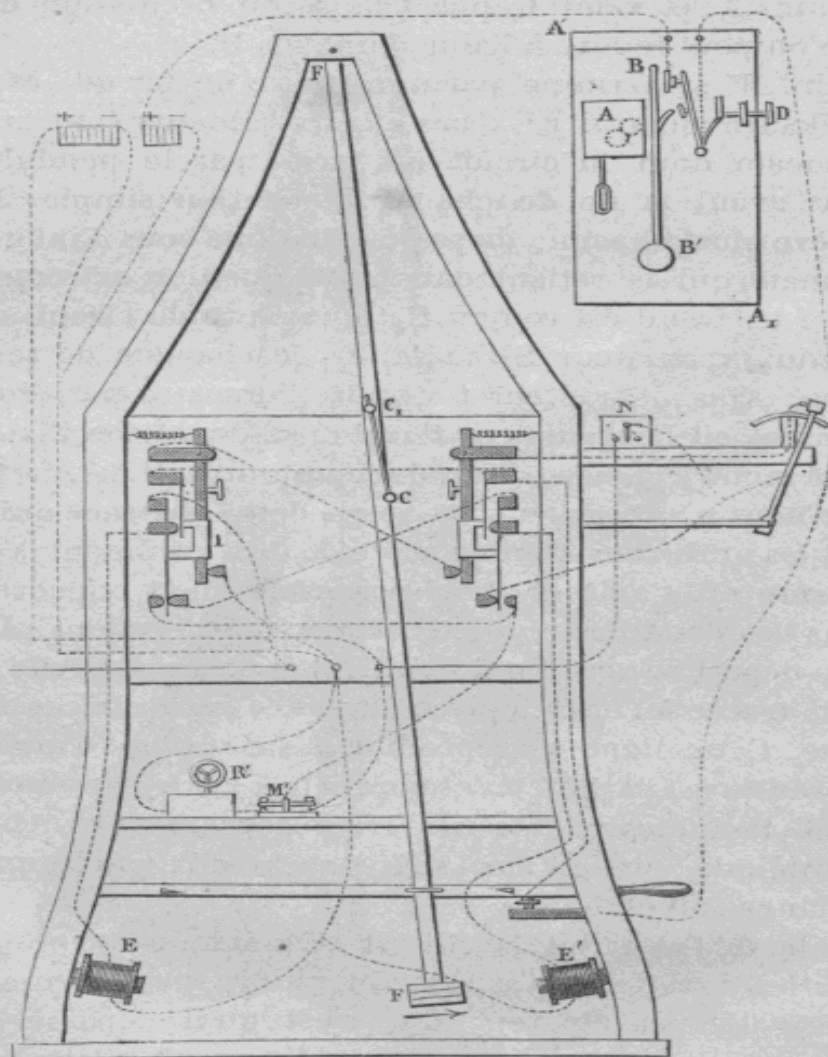
La *fig. 75* montre la disposition des communications électriques de l'appareil ; nous n'entrerons pas dans le détail du tracé qui intéresse seulement les praticiens. Il nous reste à dire comment s'obtient le synchronisme : il s'agit de rendre parfaitement concordantes les oscillations des pendules régulateurs aux deux stations. A cet effet, le poste de départ se sert d'une feuille d'étain sur laquelle une ligne droite a été tracée à l'encre suivant une des génératrices du plateau cylindrique. Cette ligne se reproduit à la station d'arrivée ; si la ligne reproduite est parfaitement parallèle à l'axe du cylindre, on en conclut que les mouvements sont rigoureusement synchroniques. Si elle est oblique, on agit sur la vis D du régulateur jusqu'à ce que la concordance soit établie.

La marche de l'appareil Caselli est très-simple en pratique : il a été mis autrefois à la disposition du public sur la ligne de Paris à Lyon. S'il n'a pas été répandu, c'est qu'il dépasse en quelque sorte les besoins courants ; le public paraît n'attacher qu'un intérêt médiocre à la reproduction autographique de l'écriture. Quant à l'envoi télégraphique de dessins ou de figures quelconques, il ne peut être considéré que comme un cas tout à fait exceptionnel.

L'appareil Caselli se prête à beaucoup de combinaisons ; nous citerons seulement à titre d'expérience curieuse la reproduction té-

légraphique d'un dessin à plusieurs couleurs. La pointe de fer animée par le courant donne avec le cyanure de potassium une teinte bleue. Quand on la remplace par une pointe de cuivre, on a une

Fig. 75.

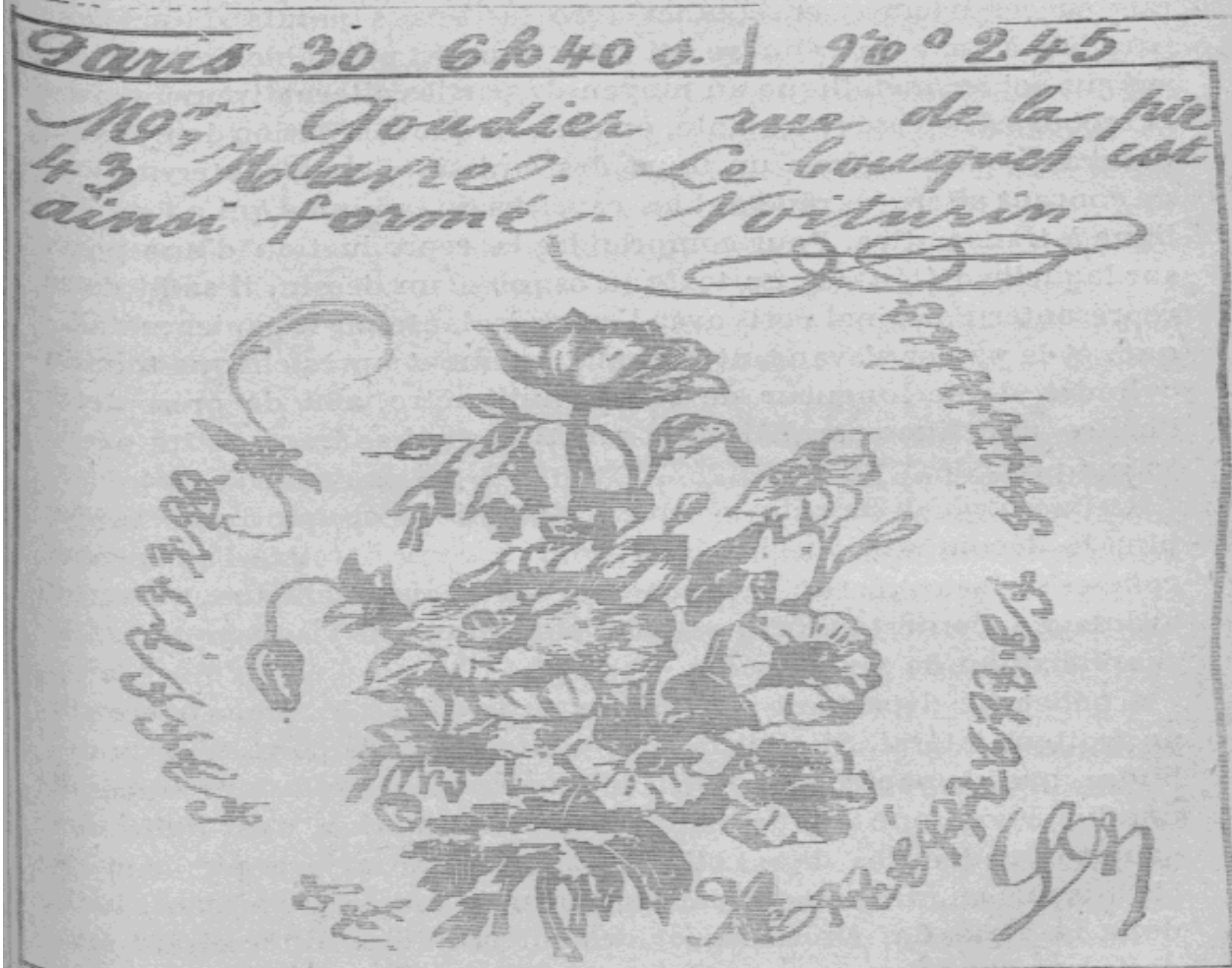


teinte rouge; on obtient, avec d'autres métaux et d'autres dissolutions, des couleurs différentes. Si donc à la station de départ on décompose le dessin en plusieurs feuilles dont chacune porte les parties qui correspondent à une couleur déterminée, et si à l'arrivée on reçoit les transmissions successives sur un même papier, en

ayant soin d'employer pour chacune d'eilles la pointe et la dissolution convenables, on reproduit le dessin à plusieurs couleurs.

La *fig. 76* représente le fac-simile d'une transmission obtenue avec l'appareil Caselli :

Fig. 76.



Appareil Meyer.

Le principe de la reproduction du manuscrit est toujours l'idée primitive d'enfermer l'original sous un grillage composé de traits parallèles, équidistants, fractionnés par des coupures inégales, concordantes à l'arrivée et au départ. D'après cette définition, on aper-

coût que le *synchronisme* sera, comme dans l'appareil Caselli, la condition fondamentale du fonctionnement.

La différence réside dans le *transmetteur* et dans le *récepteur*. La pointe à mouvement alternatif est remplacée par une *hélice* en saillie sur un cylindre. Si le pas de l'hélice est égal à la longueur du cylindre, un tour entier de celui-ci amène tous les points de la spirale successivement en contact avec les divers points d'une ligne parallèle à l'axe du cylindre. Si cette ligne est préalablement formée sur un papier métallique au moyen de parties alternativement nues et recouvertes d'encre isolante, on conçoit que la rotation du cylindre pourra produire, dans un tour, des émissions et des interruptions de courant alternées répétant les caprices de la plume qui a formé la ligne à transmettre. Pour comprendre la reproduction d'une page, sur laquelle a été tracé un texte ou esquissé un dessin, il suffit de se représenter l'original écrit avec l'encre isolante sur le papier métallique, et le papier s'avancant automatiquement après chaque tour du cylindre d'une longueur de $1/4$ de millimètre, afin de présenter à l'hélice une ligne parallèle à la première, qui se transmettra par le même procédé.

Le *récepteur* diffère du récepteur Caselli en ce que l'on n'utilise plus la décomposition chimique pour faire apparaître la dépêche, celle-ci se trouve écrite, à l'encre, sur du papier ordinaire. C'est un avantage incontestable dans une exploitation qui vise toujours à la simplification de ses procédés.

L'hélice de départ est répétée au poste d'arrivée, elle s'encre sur un frotteur latéral. Si elle était en contact, pendant un tour du cylindre, avec le papier qui se déroule au-dessous d'elle, elle tracerait une ligne continue ; pour obtenir une transmission, c'est-à-dire des coupures cadencées dans cette ligne, on dispose le papier sur un châssis mis en mouvement par l'armature d'un électro-aimant. Voilà donc la série des émissions et des interruptions du courant produite par le poste correspondant, qui découpe le grillage présentant le *fac-simile* du manuscrit.

Nous n'entrerons pas dans le détail technique du mécanisme ; l'appareil de M. Meyer fonctionne bien, il a fait ses preuves dans les conditions de service les plus diverses ; la vitesse de transmission est à peu près celle de l'appareil Morse.

Appareil Lenoir (*).

Le principe de cet appareil est le suivant : à chacun des deux postes correspondants se meut uniformément un cylindre en relation avec une petite machine électro-magnétique. Cette machine se compose d'un électro-aimant et d'un barreau de fer doux qui tourne au-dessus des pôles ; un régulateur indépendant de l'appareil envoie à des intervalles égaux et rapprochés, dans l'électro-aimant, un courant de courte durée qui attire le barreau mobile au moment où il se rapproche des pôles, et par conséquent, entretient son mouvement de rotation. La vitesse dépend uniquement de la durée des intervalles qui séparent les émissions de courant ; les deux régulateurs étant disposés de façon à marcher synchroniquement, la durée de la révolution du cylindre est la même aux deux extrémités de la ligne.

Cette machine électro-magnétique remplace le pendule de l'appareil Caselli et donne un mouvement de rotation au lieu d'un mouvement de va-et-vient.

Au poste expéditeur, la dépêche est écrite à l'aide d'une encre isolante sur une feuille de papier métallique qu'on enroule sur le cylindre ; une pointe de métal appuie sur le papier et avance à chaque tour du cylindre, de façon à décrire une hélice dont les spires sont très-voisines les unes des autres. Lorsque la pointe passe sur les traits marqués à l'encre, un courant positif est envoyé sur la ligne ; quand elle passe sur le métal, un faible courant négatif est émis et subsiste jusqu'à un nouveau passage sur l'encre isolante.

Au poste qui reçoit, une feuille de papier blanc est enroulée sur le cylindre et ses bords sont collés de façon à former une surface continue. Une plume métallique ordinaire imprégnée d'encre est mise en jeu par un électro-aimant ; à chaque passage du courant positif, elle s'abaisse et laisse sur le papier une trace dont la longueur correspond à la durée du courant positif. Le mouvement de la plume n'exigeant qu'une très-faible force, l'appareil fonctionne directement sous l'influence du courant de la ligne ; on évite ainsi l'emploi d'un relais.

L'armature de l'électro-aimant est un petit aimant qui se soulève

(*) Cette description est extraite de la Notice sur l'appareil Lenoir, publiée par M. E. Blavier, dans les *Annales télégraphiques* de 1875.

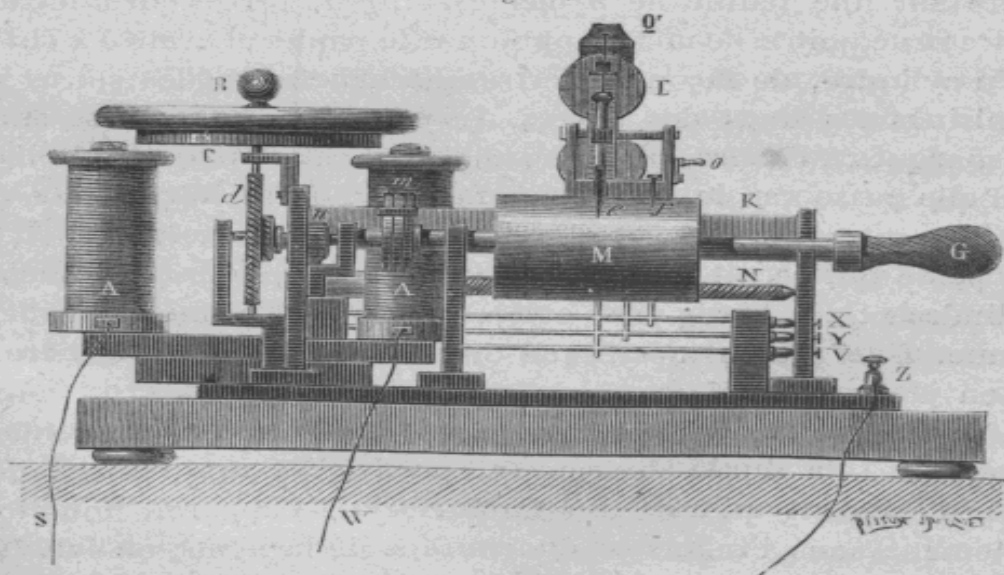
sous l'influence du courant positif, et est ramenée à sa position par un ressort antagoniste lorsque le courant positif est interrompu.

Chaque appareil est d'ailleurs installé de façon à pouvoir servir comme transmetteur ou comme récepteur; à cet effet, un petit chariot, qui est entraîné dans le sens de l'axe du cylindre lorsque ce dernier tourne, porte l'électro-aimant, la plume et la pointe métallique. En manœuvrant un petit levier, on élève la plume et l'on abaisse le style pour transmettre, ou bien on abaisse la plume et l'on élève le style pour recevoir, en même temps qu'au moyen d'un commutateur on intervertit les communications.

Ainsi qu'on l'a dit, M. Lenoir a eu l'idée d'envoyer sur la ligne un faible courant négatif, qui est transformé en courant positif au moment où la pointe métallique passe sur l'encre isolante. Ce résultat s'obtient par une disposition très-simple, déjà adoptée par M. Caselli dans ses premiers appareils autographiques et applicable à tous les appareils analogues dans lesquels le manipulateur n'a pour fonctions que d'établir et d'interrompre une communication.

L'appareil représenté *fig. 77* et 78 est expliqué suffisamment par la

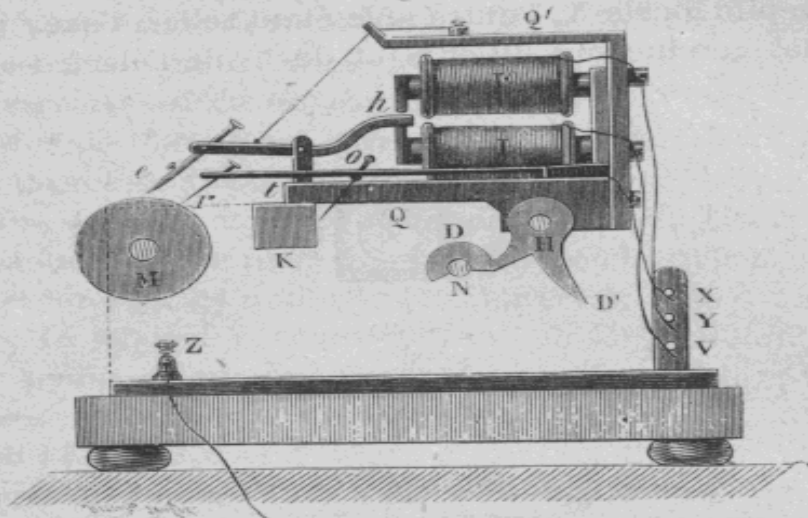
Fig. 77.



légende ci-dessous :

- AA' électro-aimant moteur ;
- B volant supportant la lame de fer doux C qui est alternativement attirée ;

Fig. 78.



- | | | |
|----|---|------------------|
| M | cylindre tournant sous l'action du moteur ; | |
| e | plume traçante pour la réception | } portées par le |
| f | pointe métallique pour la transmission | |
| H | guide du chariot QQ' ; | |
| N | vis commandée par le moteur qui fait avancer le chariot ; | |
| I' | électro-aimant imprimeur. | |

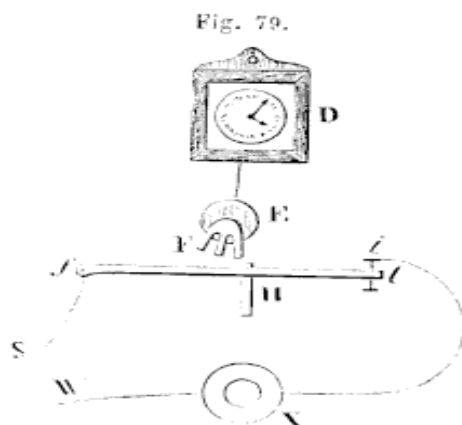
Nous parlerons maintenant du régulateur. Celui que M. Lenoir avait d'abord employé était un pendule conique dont le mouvement était entretenu par un mécanisme d'horlogerie. Ce pendule, qui faisait une révolution par seconde, avait son extrémité inférieure engagée dans la rainure d'un bras horizontal muni d'un frotteur ; ce dernier en appuyant sur une roue interruptrice horizontale portant des reliefs métalliques, envoyait quatre courants par seconde.

Le pendule conique, dont le prix était assez élevé, a été remplacé en dernier lieu par le pendule d'une horloge commune, vulgairement appelée *coucou*. Ces horloges, dont le moteur est un poids, marchent avec une grande régularité.

Afin d'éviter les frottements, M. Lenoir a disposé l'appareil comme le montre la *fig. 79*.

La lentille E du pendule de l'horloge D supporte un aimant permanent à trois branches F ; les deux branches extrêmes sont terminées par un pôle sud et celle du milieu par un pôle nord. En face se trouve un levier *fl* mobile autour d'un axe *f* ; l'extrémité *l* oscille

entre deux buttoirs, dont le supérieur i communique avec l'un des pôles d'une pile locale X, l'autre pôle étant relié à l'axe f par l'intermédiaire des conducteurs W et S et du fil de l'électro-aimant AA' (fig. 79).



La tige f/i supporte un petit aimant H dont le pôle sud se trouve à la partie supérieure en présence de l'aimant à trois branches F . Lorsque le pendule oscille, l'aimant H est attiré au moment où la branche du milieu passe au-dessus; la tige f/i se soulève, son extrémité i venant toucher le buttoir i ferme le circuit de la pile motrice X ; un des autres pôles de l'aimant à trois branches passe ensuite au-dessus de l'aimant H et produit une répulsion qui contribue avec le poids de la tige et un ressort de rappel, s'il y a lieu, à rompre le circuit qui n'est fermé que pendant un instant très-court, mais suffisant pour le jeu de la machine électro-magnétique.

Le pendule exécute à peu près quatre-vingts oscillations complètes par minute; il passe donc dans l'électro-aimant moteur cent soixante courants par minute, qui produisent quatre-vingts révolutions du volant. Les engrenages sont calculés pour que cette vitesse du volant corresponde à vingt tours du cylindre, qui exécute par conséquent un tour en trois secondes.

La pile employée par M. Lenoir pour faire fonctionner la machine électro-magnétique est composée de seize grands éléments.

M. Blavier apprécie ainsi la vitesse de transmission :

Les cylindres sur lesquels sont enroulées les dépêches ont 70 millimètres de longueur; leur circonférence a un développement de 482 millimètres, mais une petite bande longitudinale d'environ 42 millimètres de largeur correspondant à la lame qui tient la feuille

métallique, est perdue pour la transmission, de sorte que la largeur du papier employé utilement est de 170 millimètres. La surface totale d'une feuille enroulée sur le cylindre et qui peut être recouverte de signaux est de 420 centimètres carrés.

Les spires de l'hélice qui fait avancer le chariot sont éloignées les unes des autres de $\frac{1}{3}$ de millimètre. Les hachures qui forment les dépêches se suivent donc à $\frac{1}{3}$ de millimètre de distance, et il faut trois tours du cylindre pour que la plume ou le style parcoure la surface correspondant à 1 millimètre de longueur.

Comme le chariot exécute un tour en trois secondes, le temps employé pour chaque millimètre de longueur du papier est de 9 secondes, et la surface entière du cylindre est parcourue en 810 secondes ou 13 minutes et demie.

Le Décret du 14 août 1869 a fixé à 24 centimètres carrés la surface métallique de la dépêche simple autographique : cette surface, qui correspond à une longueur du cylindre égale à 14 millimètres, est parcourue en 126 secondes ou 2 minutes 6 secondes.

Dans cette étendue de 24 centimètres carrés, on pourrait, en employant une écriture fine et serrée, inscrire un grand nombre de mots ; mais dans la pratique, pour obtenir à l'extrémité d'une ligne de 5 à 600 kilomètres des caractères bien nets et bien formés, on ne doit pas dépasser le nombre de 28 à 30 mots.

On peut donc admettre que l'appareil autographique de M. Lenoir peut transmettre par heure 30 dépêches de 28 à 30 mots. Cette vitesse a été facilement obtenue dans les expériences qui ont été faites en 1873 entre Paris et Bordeaux.

Si l'on augmentait la vitesse de rotation du cylindre et l'espacement des hachures, on obtiendrait le même effet qu'en employant une écriture plus fine : on améliorerait le rendement, mais au détriment de la netteté des dépêches.

Le télégraphe de M. Lenoir ne fait pas concurrence aux appareils à grande vitesse ; en revanche, la simplicité du fonctionnement, les avantages particuliers de l'impression en autographie, semblent le désigner pour une application qui n'est encore qu'à l'état naissant : nous voulons parler des communications télégraphiques à l'intérieur d'une usine, ou entre une usine et un bureau de l'État. Dans ces conditions, il offrira des ressources précieuses, surtout si l'inventeur parvient, ainsi qu'il l'espère, à le livrer au prix de 400 fr., qui ne dépasse pas de beaucoup celui de l'appareil Morse.

TYPOTÉLÉGRAPHES.

Dans les divers appareils autographiques qui viennent d'être décrits, il faut qu'une pointe parcoure la surface entière de la feuille sur laquelle la dépêche est tracée ; tout le temps qu'elle met à passer sur le blanc du papier est évidemment perdu. On gagnerait en vitesse, si toutes les lettres étaient comprises entre deux lignes parallèles, comme des caractères ordinaires d'imprimerie, et si la pointe n'avait qu'à se mouvoir sur cette surface utile. C'est cette pensée qui a inspiré à M. Bonelli l'idée d'un appareil *typotélégraphique*.

Appareil Bonelli.

La dépêche est composée sur une seule ligne à l'aide de caractères d'imprimerie (lettres capitales), que l'on place dans un cadre. Un peigne à cinq pointes (*fig. 80*) parcourt la dépêche dans toute sa longueur ; ces cinq pointes sont isolées l'une de l'autre et communiquent chacune avec un fil distinct. Ces fils sont en relation, à l'extrémité de la ligne, avec cinq pointes formant également un peigne

Fig. 80.

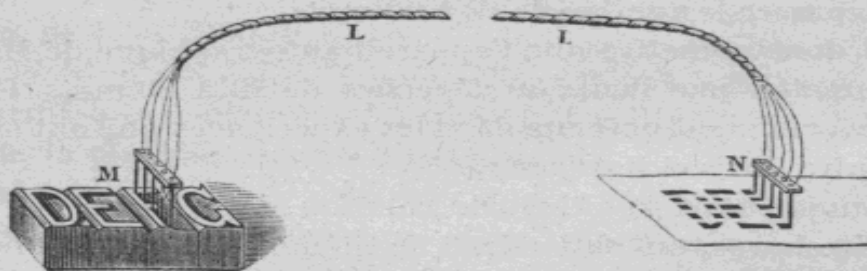


Fig. 81.

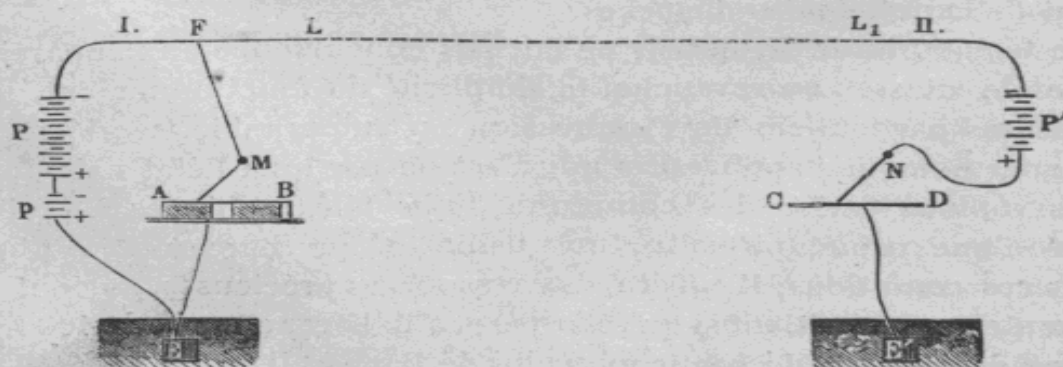
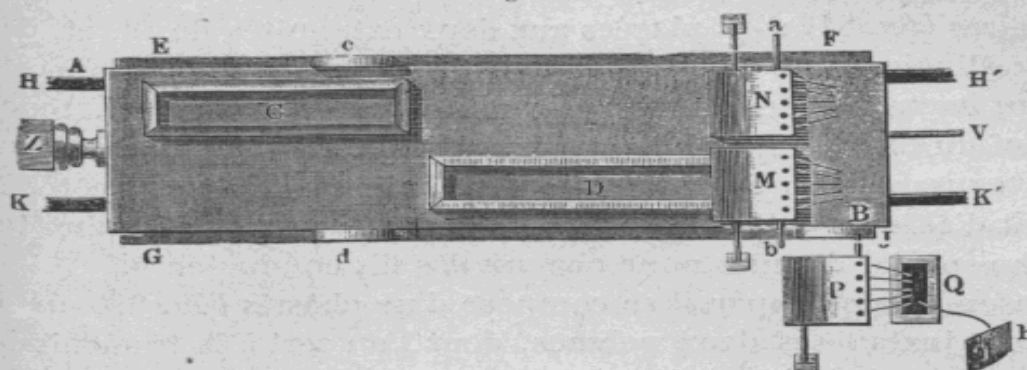


Fig. 82.



sous lequel se meut une bande de papier électro-chimique. Le premier peigne, qui sert de distributeur de l'électricité, envoie un courant sur un fil chaque fois que la pointe correspondante touche le relief d'une lettre. Les différents caractères sont ainsi reproduits sur le papier chimique par cinq séries de traits qui suffisent à les figurer ; le texte est parfaitement lisible.

Dans un pareil système, le synchronisme n'est plus indispensable, mais la nécessité d'avoir cinq fils parallèles constitue un embarras d'un autre ordre ; à la rigueur, quatre fils peuvent suffire, et l'on obtient encore ainsi un texte suffisamment net ; mais on ne peut pas descendre au-dessous de ce nombre, et c'est là une condition qui rend ce système à peu près inapplicable. Il n'y a guère de ligne télégraphique qui puisse fournir à la fois quatre fils en bon état, pour le service d'un seul appareil.

Dans l'appareil présenté en France par M. Bonelli, les pointes des peignes sont en platine ; on a voulu éviter ainsi l'usure inégale des différentes dents qui se serait produite si l'on s'était servi de pointes de fer. Le platine n'agit pas directement pour former avec la solution chimique la trace colorante ; il conduit seulement le courant, et la substance dont le papier est imprégné fournit, en se décomposant, tous les éléments de la coloration. Cette substance est de l'azotate de manganèse. Cette impression chimique est plus difficile à produire que celle qu'emploie M. Caselli ; elle demande une force électro-motrice à peu près double.

On remarquera d'ailleurs que les dents des peignes se trouvent, à certains moments, en communication avec le métal des caractères et sont isolées le reste du temps au-dessus d'un espace vide. En raison de cette circonstance, M. Bonelli a adopté, pour la pile qui

anime chaque fil, la disposition suivante : deux piles égales et de sens contraires (*fig. 81*) sont placées aux deux extrémités du fil, et, dans l'état ordinaire leurs courants se détruisent ; mais, quand la pointe qui, au bureau de départ est en communication avec le fil, touche le relief du caractère, elle établit une communication avec la terre, et les courants des deux piles se ferment chacun de son côté. On conçoit d'ailleurs qu'il faille, dans ce système, une pile ou plutôt un système spécial de piles pour chacun des fils conducteurs.

L'ensemble de l'appareil se compose d'un châssis (*fig. 82*) sur lequel sont juxtaposés deux peignes, dont l'un sert à la transmission et l'autre à la réception. Deux chariots se meuvent sur des rails, l'un portant une dépêche composée, l'autre une bande de papier chimique ; ils sont entraînés par un mouvement d'horlogerie que déclanche le courant de la ligne, et viennent passer successivement sur leurs peignes respectifs, de telle sorte que, dans un seul voyage, une dépêche est transmise et une autre est reçue. Quand le système des deux chariots est arrivé à l'extrémité de sa course, on le ramène à la main à sa position première où un déclie l'arrête. Ce mouvement de recul remonte d'ailleurs le mécanisme d'horlogerie, et on le trouve prêt pour une nouvelle transmission.

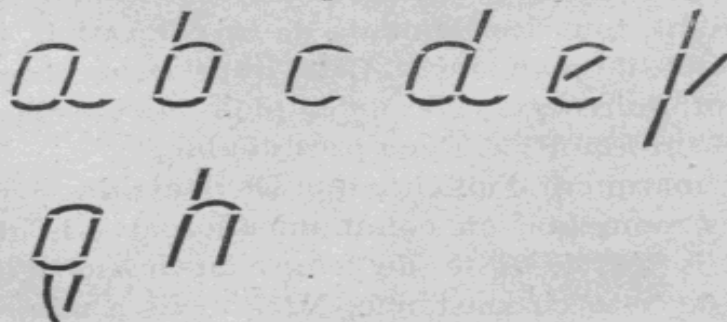
Système Vavin et Fribourg.

Les typotélégraphes sont, comme nous le disions plus haut, des appareils qui décomposent les lettres en un très-petit nombre d'éléments, pour les transmettre à l'aide de quelques émissions de courant. M. Bonelli a recours, pour atteindre ce but, à une composition préalable en caractères d'imprimerie. Il nous reste à parler d'un système qui résout le problème d'une autre façon ingénieuse et nouvelle.

Fig. 83.



Fig. 84.

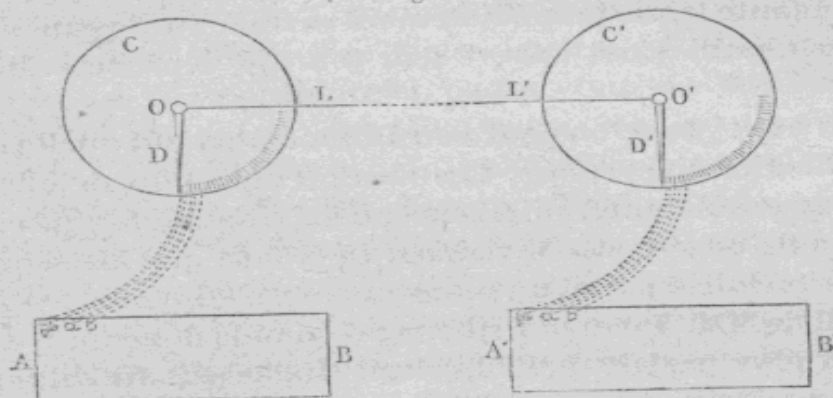


MM. Vavin et Fribourg emploient une sorte de caractère-type (*fig. 83*) dont les éléments peuvent servir à représenter toutes les lettres. Les lettres ont alors la forme ci-contre (*fig. 84*).

Le système se compose d'ailleurs essentiellement (*fig. 85*) :

1° D'un cliché AB comprenant au moins autant de caractères-types qu'il y a de lettres à transmettre. Chacun de ces types est formé de onze lames métalliques isolées les unes des autres et fixées dans un bloc de gutta-percha ;

Fig. 85.



2° D'un disque rigide C recouvert de gutta-percha ; il comprend autant de divisions métalliques, isolées les unes des autres, qu'il y a de lamelles dans le cliché ; chaque division communique d'ailleurs par un petit fil spécial avec une lamelle du cliché ;

3° D'une aiguille conductrice D qui parcourt le disque et vient toucher successivement, en faisant légèrement ressort, chacune des divisions métalliques.

Tels sont les éléments principaux qui constituent la station de départ. A l'arrivée, il y a de même un cadran C' avec une aiguille D' et un cliché A'B'. Les deux aiguilles D et D' sont reliées au moyen du fil de ligne LL' ; elles peuvent être mises en mouvement par deux appareils d'horlogerie déclenchés au même instant et marchant synchroniquement.

Cela étant donné, on écrit le télégramme à transmettre au moyen d'encre isolante sur un papier métallique où sont légèrement indiqués à l'avance des caractères-types identiques à ceux du cliché transmetteur. On n'a donc qu'à suivre, à la plume, les parties du type qui doivent former chaque lettre. On place la feuille ainsi préparée sur le cliché AB, en le mettant en communication avec la pile :

à la station d'arrivée, une feuille de papier chimique est placée de même sur le cliché A'B'. Si, dans ces conditions, on fait partir à la fois les deux aiguilles D et D', de telle sorte qu'elles fassent ensemble le tour de leurs cadrans respectifs, chacune des lamelles de AB est successivement en communication par le fil de ligne avec chacune des lamelles de A'B'.

Par une disposition facile à concevoir, le courant est envoyé sur la ligne chaque fois qu'il rencontre sur son passage une lamelle que recouvre une trace isolante. A la station d'arrivée, la lamelle correspondante laisse immédiatement sa trace sur le papier chimique. Quand les aiguilles ont achevé leur tour, la dépêche entière est imprimée.

D'après cet exposé, on peut voir immédiatement quelle est la principale difficulté du système. Les roues C et C', pour le cliché de cent lettres (correspondant à une dépêche de vingt mots), ne contiennent pas moins de onze cents divisions. Or il faut que les deux aiguilles parcourent ces divisions d'un mouvement parfaitement synchronique. L'appareil de MM. Vavin et Fribourg demande donc un synchronisme beaucoup plus parfait que l'appareil Hughes. Dans celui-ci, grâce à la roue correctrice, il suffit qu'il n'y ait pas entre les mouvements des roues une différence de plus de $\frac{1}{56}$ de circonférence par tour, si l'on abaisse une touche du clavier à chaque révolution du chariot. Si l'on n'abaisse une touche que tous les trois tours, il suffit encore que la différence soit moindre que $\frac{1}{168}$. Dans l'appareil Vavin et Fribourg, en admettant que le synchronisme soit réglé à chaque tour, il faut que les mouvements ne diffèrent jamais de $\frac{1}{1100 \times 2}$ ou $\frac{1}{2200}$ de circonférence.

Cette condition ne pourrait être réalisée que par un mécanisme d'une grande précision, et il paraît difficile d'y arriver dans la pratique. Il est juste cependant d'ajouter que les études sur le synchronisme sont encore à leur début. Pendant longtemps, elles ne s'appliquaient qu'aux problèmes de l'horlogerie; c'est seulement depuis un très-petit nombre d'années que la pratique de la télégraphie a donné un nouvel intérêt à ces questions. On ne peut donc se faire, dès maintenant, une idée arrêtée sur les résultats qui pourront être obtenus.

LE JACQUARD ÉLECTRIQUE DE WHEATSTONE.

L'introduction du métier Jacquard a produit une révolution considérable dans l'industrie du tissage. On sait que, dans ce système, les divers fils qui doivent concourir à former le dessin de l'étoffe se rangent automatiquement entre les mailles de la trame. Une combinaison mécanique simultanée avec le mouvement de la navette, remplace le travail manuel, pénible et compliqué des anciens tisserands. Une bande continue de *cartes* passe successivement sur le registre du métier et se présente à chaque coup de navette. Les cartes sont perforées de façon que les trous représentent une partie complète de l'échantillon, et que chaque trou contrôle l'élévation de l'un ou plusieurs des fils dans la chaîne. Des aiguilles, abaissées au passage des trous, distribuent les fils par groupes dans l'ordre voulu par le dessin; la navette passe au-dessous, et la carte suivant le registre, reproduit automatiquement le modèle préparé. C'est le principe du métier Jacquard que sir Ch. Wheatstone a employé pour *tisser* les courants électriques expédiés sur une ligne, et reproduire sur le papier à la station correspondante le modèle électrique.

Le métier Jacquard tisse rapidement, parce que le travail mécanique occasionné par la préparation du modèle s'effectue avant qu'on place celui-ci sur le métier. Il en est de même pour l'*imprimeur automatique* ou *Jacquard électrique*; la vitesse de transmission est considérable.

Les cartes employées sur le métier électrique pour régler la succession des courants et des groupes de signaux sont préparées avant d'être placées sur l'instrument, de sorte que le temps employé à transmettre un nombre quelconque de courants et groupes de courants pour représenter des lettres et des mots, est réduit au minimum. Pour des transmissions électriques cela est important; le prix du travail manuel par minute étant faible, comparé à la valeur d'une minute dans l'utilisation d'un fil télégraphique d'un développement considérable, et dont la construction a coûté une somme élevée.

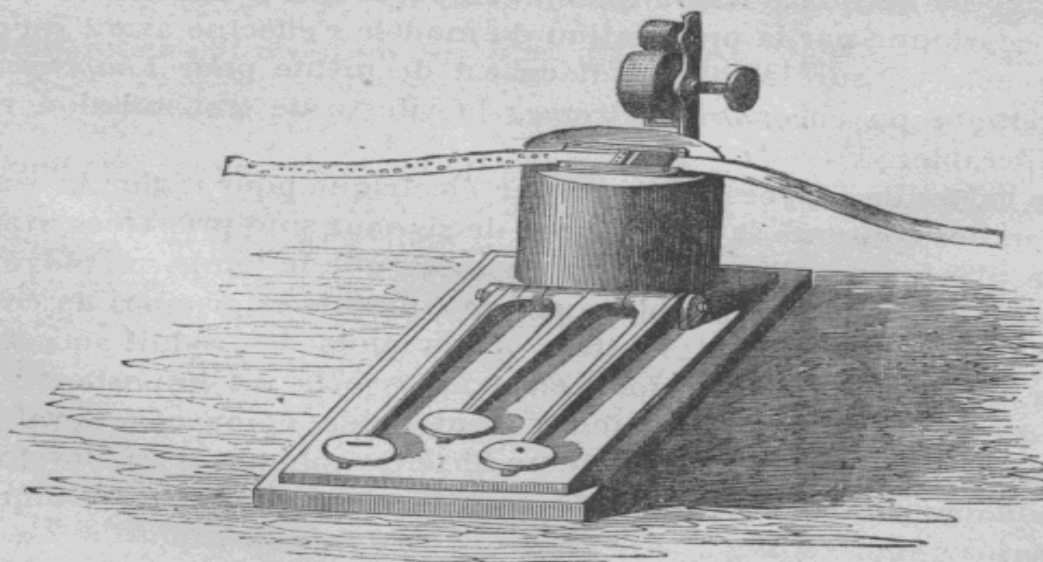
Obtenir le maximum de travail sur un fil en un temps donné, est l'un des problèmes de la télégraphie mécanique; le succès com-

mercial de ces entreprises dépend principalement de la vitesse avec laquelle les courants électriques sont envoyés sur un fil d'une longueur donnée. Cette vitesse est réglée par la rapidité avec laquelle les courants peuvent s'émettre sur le fil sans confusion, c'est-à-dire sans se mêler en traversant le conducteur de façon à ne pas produire ainsi à l'extrémité éloignée un trait absolument continu. Pour cela les courants doivent traverser le fil à des intervalles égaux, et avoir une égale durée. C'est ce que le Jacquard électrique Wheatstone réalise parfaitement; nous allons expliquer maintenant comment le modèle électrique est tissé.

L'appareil se compose de trois parties distinctes, l'une servant à la préparation de la carte du métier électrique, pour régler la succession et la série des courants de l'écriture électrique; l'autre, le métier qui fera passer dans la ligne les courants ainsi groupés; le troisième remplit la fonction de la navette, c'est-à-dire de l'organe qui enregistre les courants émis sur la ligne et les transforme en symboles représentant des lettres, des mots et des phrases.

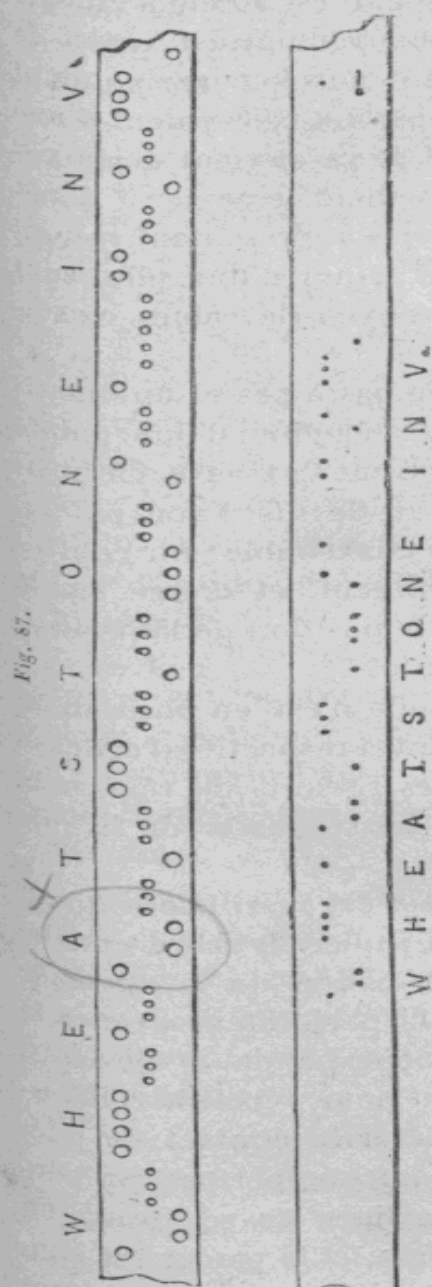
Le message à envoyer est d'abord poinçonné, arrangé en *points* et *traits* de l'alphabet Morse, sur un ruban de papier continu, au moyen d'un instrument appelé *perforateur* que l'on voit (*fig. 86*) sous

Fig. 86.



une forme élémentaire. Chacune des trois touches perfore, lorsqu'elle

est abaissée, un petit trou rond dans le ruban de papier : la touche de droite est pour les points, celle de gauche pour les traits ; celle du milieu sert à l'espacement mécanique des trous, indispensable au mouvement régulier du ruban sur le métier ou *transmetteur*.



La machine à perforer est construite de façon que, par l'abaissement d'une clef, une triple action est accomplie, savoir : le ruban de papier est fixé dans la machine pour recevoir la perforation, puis le trou est formé par la dépression sur le papier d'une pointe en acier ; enfin un mouvement mécanique qui d'abord a maintenu le papier dans la direction suivant laquelle entre le ruban, le fait avancer après la formation automatique du trou et le place à la distance voulue pour la formation du trou suivant.

C'est ainsi que la pression successive des poinçons produit sur le papier-bande les séries de perforations nécessaires pour représenter des lettres et des groupes de lettres constituant des mots. Le poinçon du milieu, outre qu'il espace mécaniquement les perforations pour assurer leur passage régulier dans le *transmetteur*, sert par sa pression propre à distancer convenablement les lettres et les mots des dépêches. La *fig. 87* fait voir, dans les dimensions naturelles, l'aspect du papier préparé. La dépêche est donc écrite et composée sans qu'on utilise le fil ; le temps que prend cette préparation n'est pas enlevé à la transmission, on réalise ainsi un avantage d'économie notable sur les systèmes fonctionnant par un mode de travail manuel lent, traînard, occupant inutilement le circuit.

La seconde partie, ou le *transmetteur* du système Wheatstone, est l'appareil qui envoie sur le fil automa-

* ? a mistake. A = —, so
should be

tiquement les courants dans la succession préparée par le *perforateur*. Dans ce fonctionnement, qui a beaucoup de ressemblance avec la manière dont les cartes Jacquard régularisent l'élévation et l'abaissement successifs de la chaîne sur le métier, le ruban de papier perforé avance pas à pas à travers la machine. Il est arrêté à chaque oscillation d'un petit balancier, dont le mouvement est réglé de façon à ne laisser avancer le papier que d'une portée correspondant exactement à l'espacement des perforations. Le relèvement d'une pointe, qu'élève et abaisse alternativement le va-et-vient du mécanisme oscillatoire, fait avancer automatiquement le papier à dépêches. Deux autres pointes à contacts à ressorts, représentant respectivement le pôle positif (cuivre) et négatif (zinc) d'une pile, sont actionnées par le même mécanisme, au moyen de cames excentriques.

Ainsi, lorsque le ruban de papier avance pas à pas et automatiquement dans une succession rapide, sous l'action d'une pointe centrale, si une perforation à *passage de courant* se trouve en position au moment où le ruban de papier est au-dessus d'une pointe, cette perforation est effectuée par la pointe convenable; un contact métallique est établi entre la pile et l'instrument, et donne sur la ligne un courant positif ou négatif, d'après la position de la perforation et l'élévation de la pointe correspondante.

Si aucune perforation dans le papier-bande n'est en position au moment de l'élévation automatique des pointes respectives, celles-ci retombent par l'influence compensatrice des ressorts de réglage et un mouvement *muet* est effectué, qui ne laisse passer de la pile aucun courant dans le circuit.

On conçoit donc que l'action du *transmetteur* est aussi triple, quant au passage du courant et au mouvement du papier. D'abord chaque oscillation du balancier entraîne le papier-bande de la distance exacte dont l'abaissement de la clef dans le perforateur avance la bande à dépêches; ensuite, lorsque le papier-bande a été ainsi avancé, il est momentanément maintenu pour recevoir l'introduction de la pointe convenable et compléter le contact de pile, suivant la place de la perforation. Enfin, si aucune perforation correspondant à un passage de courant sur la ligne ne se trouve en position, un mouvement *muet* de pointe a lieu, et le papier est simplement avancé automatiquement d'un mouvement régulièrement saccadé.

Outre le mécanisme des trois cames excentriques servant à la marche du ruban, à l'élévation des pointes et au passage d'un courant en circuit par suite du concours d'une perforation dans le papier-bande avec l'élévation d'une pointe, un quatrième mouvement de contact électrique fort important est effectué à chaque oscillation du petit levier. Ce mouvement est indépendant de l'élévation des pointes; il établit un contact momentané entre la ligne et la terre après chaque élévation successive de l'une ou l'autre pointe à passage de courant.

La nécessité de cette décharge à la terre pour rendre la ligne libre, a pour cause le résidu dans le fil isolé d'une portion du courant émis; s'il n'était éliminé, il affaiblirait le courant subséquent qui peut être de non contraire et diminuerait la propriété de transmission rapide de la ligne.

Grâce à un ingénieux arrangement des contacts électriques perfectionné par M. A. Stroh, à la grande habileté duquel, pour tout ce qui concerne des problèmes électriques ayant un caractère mécanique, M. Wheatstone doit la perfection absolue du mécanisme de sa télégraphie automatique, après chaque élévation successive des pointes, le fil du circuit est relié momentanément à la terre. Cette relation a lieu à chaque oscillation du petit levier, soit qu'une pointe traverse ou ne traverse pas une perforation. Un courant ne passant dans la ligne que par l'établissement d'un contact avec la pile, dans l'élévation de l'une ou l'autre pointe, la ligne est cependant établie *en décharge*, par l'élévation d'une pointe, à des intervalles égaux et réguliers.

Dans cet arrangement mécanique, les contacts nécessaires avec la pile et la décharge régulière de la ligne sont obtenus sans que l'on ait recours au travail manuel. Les erreurs sont évitées, car les machines n'oublient jamais leur enregistrement, elles ne se trompent point de marques : deux sources d'erreur inhérentes au cerveau et à la main de l'homme.

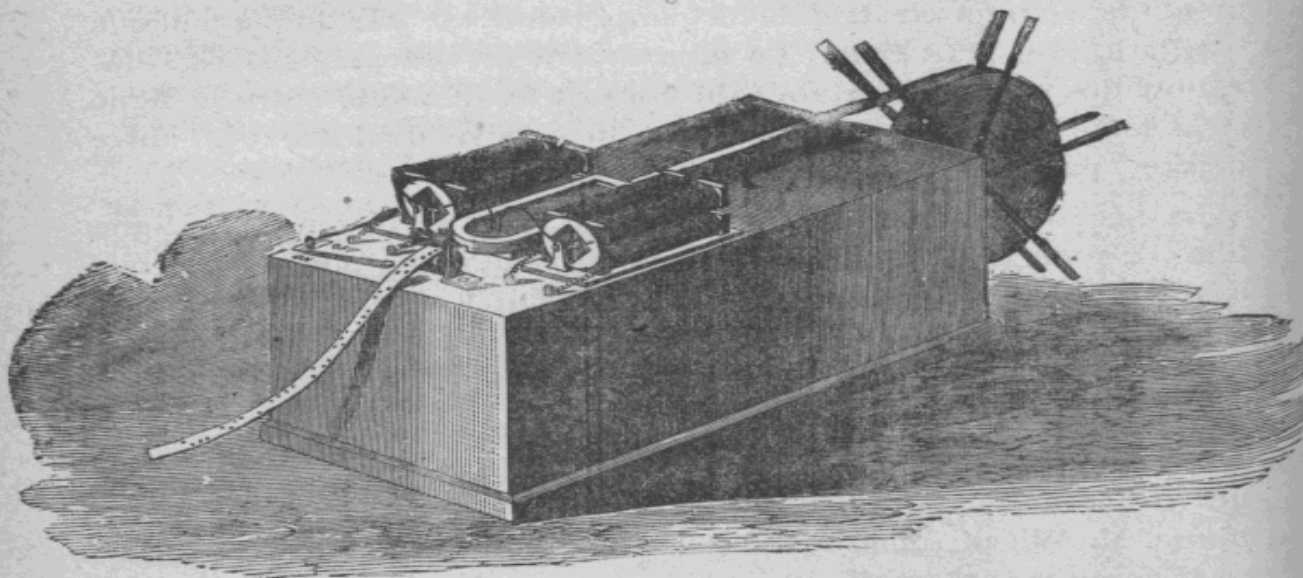
Nous continuons la description du Jacquard électrique :

La succession rapide des courants envoyés sur le fil de ligne par le *transmetteur* est enregistrée automatiquement à la station correspondante au moyen d'un appareil appelé *récepteur* ou *imprimeur* qui marque, les uns après les autres, sur un ruban continu de papier, et avec la rapidité suivant laquelle les courants se succèdent sur la li-

gne, les *points* et les *traits* du vocabulaire alphabétique Morse, lesquels correspondent aux trous du ruban perforé Jacquard.

La disposition de cet instrument est indiquée dans la *fig. 88*. Le

Fig. 88.



vocabulaire des *points* et des *traits* est représenté sur un papier-bande, à droite et à gauche d'une ligne centrale, par des points (*fig. 87*); la ligne inférieure de points est *lue* pour les *traits* et la ligne supérieure pour les *points*. Le papier-bande, par une propulsion mécanique, traverse la machine d'un mouvement continu en s'engageant sous un plateau contenant de l'encre ou un autre liquide coloré. Deux petites perforations sont pratiquées dans le fond de ce réservoir, à l'endroit où elles correspondent avec les points à imprimer sur le ruban, à mesure que celui-ci passe dans le réservoir; l'attraction capillaire empêche l'encre de couler. Deux électro-aimants, des deux côtés de l'encrier, commandent deux aiguilles ajustées de façon à être abaissées par l'action du courant. Plongeant dans l'encrier, elles passent dans les trous et apportent un petit point d'encre sur le papier-bande; suivant que telle ou telle aiguille est abaissée, elle forme un *point* ou un *trait*, sans frottement, sans résistance mécanique autre que celle de l'encre contenue dans des tubes capillaires.

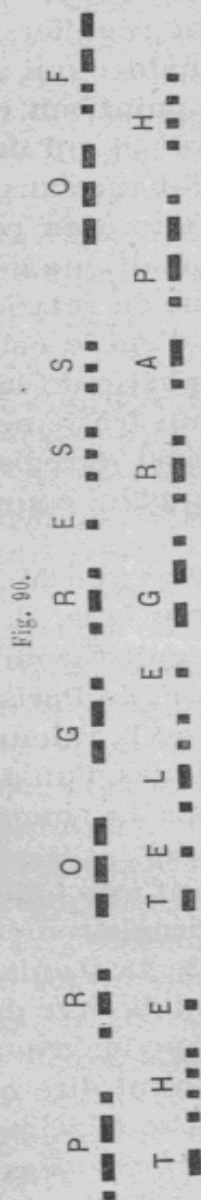
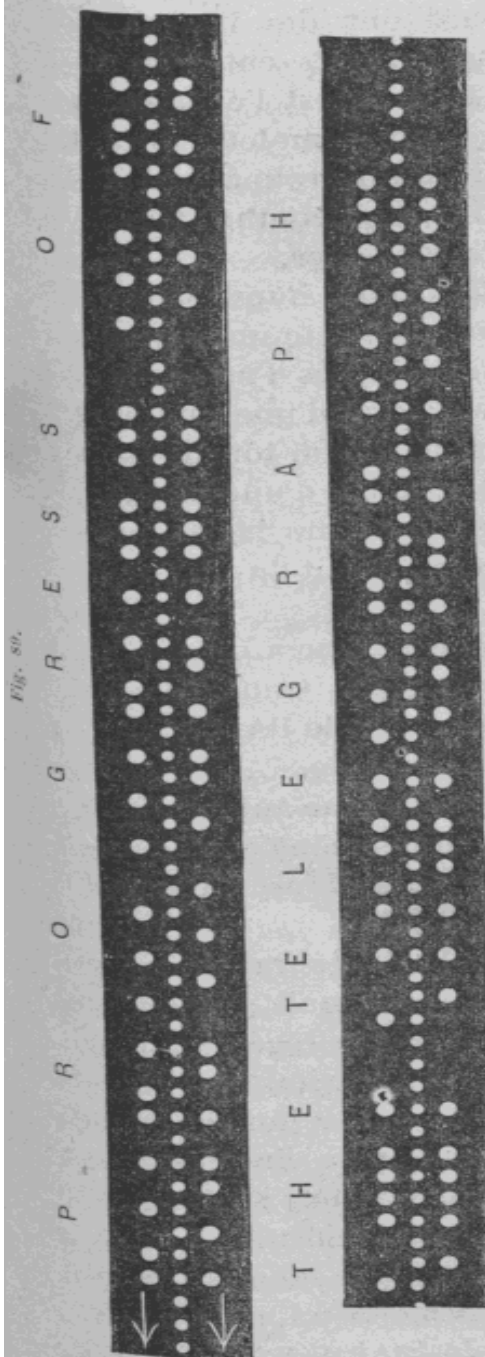
Les circuits électro-magnétiques sont arrangés de façon que seules les aiguilles correspondantes soient actionnées par les courants venus des pôles positif ou négatif de la pile. L'impression des points

est marquée sur la *fig. 87*, au-dessous de la bande perforée qui a servi de modèle.

Dans une autre forme de l'imprimeur, le vocabulaire Morse est im-

primé en lettres formées de *points* ou de *traits*, les groupes et successions de groupes forment des lettres et des mots qui correspondent exactement aux perforations de points et de traits du ruban Jacquard. Les *fig. 89* et *90* donnent la composition de la dépêche sur le papier perforé et l'impression automatique d'après ce système. Ici encore on se sert de l'attraction capillaire, mais d'une manière différente : un petit disque à encre (molette en métal) sur un axe délicatement pondéré, capable d'une légère oscillation angulaire dans le sens latéral, obéit à un mouvement de va-et-vient de l'armature d'un aimant permanent et est actionné par les courants alternatifs inverses qui, du *transmetteur*, passent dans la ligne. Une rotation rapide est donnée à la molette par la propulsion mécanique du papier-bande.

Le disque repose contre la surface du ruban de papier, de façon que, en recevant un mouvement dans un sens opposé il se relève, tandis que dans la position neutre il est affranchi de tout contact. La



rencontre avec le papier produira des marques, points ou traits, selon que la durée de l'impression aura été plus ou moins longue; le mouvement contraire produira l'espacement entre les marques d'impression.

Si les courants venus du ruban Jacquard ont des intervalles égaux et des directions alternatives, les espacements entre les signaux seront automatiquement réguliers. Le trait est l'effet de la rétention magnétique de l'armature qui agit sur la molette durant un temps double de celui du point, en raison du groupement des perforations qui forment le trait et qui donnent au courant traversant le circuit une durée plus longue sans le renverser.

La disposition qui fournit l'encre au petit disque imprimeur est simple et efficace. Une roue métallique a sur son arête une entaille en forme de V, elle est maintenue en rotation au-dessus d'un encrier. L'attraction capillaire remplit d'encre cette gorge d'une manière constante, de sorte que la périphérie de la molette qui tourne dans l'entaille est constamment et sans frottement imbibée d'une manière convenable. La molette peut ainsi enregistrer toujours les mouvements de l'armature, à mesure que les courants passent du transmetteur dans le fil.

C'est par ces moyens si simples que M. Wheatstone a obtenu un transmetteur rapide, enregistreur sûr, donnant des transmissions par impression aux principaux centres commerciaux de l'Angleterre, et appliqué en France sur la ligne de Paris à Marseille.

Si l'on veut se faire une idée de la valeur du système automatique rapide sur des lignes télégraphiques d'un développement considérable, il suffit de comparer, dans les mêmes conditions, l'appareil Morse avec le Jacquard électrique.

Pour utiliser un appareil alliant une telle célérité de transmission à d'aussi puissants moyens d'enregistrement, il devenait nécessaire d'adopter un système spécial de transmission et de réception afin d'économiser le travail manuel et de tirer du fil le maximum de rendement. Les dépêches passent donc en groupes à la machine qui doit les transmettre par le fil, ce qui veut dire que pour un circuit d'une longueur de 500 kilomètres, douze dépêches de 30 mots sont poinçonnées sur un ruban continu et envoyées par le transmetteur à la fois, et *vice versa*. Le fil de Londres à Birmingham, par exemple, peut envoyer quatre groupes distincts de 12 dépêches chacun, et recevoir trois groupes semblables dans une heure. Cela équivaut à 80 dépê-

ches de 30 mots chacune; sur une moyenne de 5 lettres par mot, cela forme un total de 12 000 lettres, et 200 lettres à la minute.

Une semblable rapidité peut se maintenir par un beau temps ordinaire et n'exige qu'un personnel de cinq employés aux stations de réception et de transmission, à savoir : deux pour poinçonner les dépêches sur le papier-bande, deux pour écrire et transmettre, et un cinquième pour manier l'appareil, accuser les réceptions, demander les répétitions, etc. S'il s'agit de dépêches parlementaires ou de journaux, on obtient une rapidité beaucoup plus grande, d'abord parce qu'il n'y a plus nécessité de grouper les dépêches, et ensuite parce que généralement les transmissions n'ont lieu que dans un seul sens, que les dépêches soient reçues ou expédiées, circonstances qui réduisent considérablement le délai initial de la transmission.

APPAREIL MULTIPLE DE MEYER.

On y retrouve une application originale du principe de l'hélice. Avant de le décrire, indiquons d'abord et en quelques mots le problème des appareils à *grande vitesse* en télégraphie électrique.

Avec l'appareil Morse, dans lequel chaque lettre suppose en moyenne 4 émissions de courant, la dépêche de 20 mots comptera 400 émissions (si la moyenne des lettres d'un mot est de 5). Dans la pratique courante, ces 400 émissions sont effectuées en 3 minutes, ce qui donne, par seconde, un peu plus de 2 émissions. Les télégraphes autographiques ont montré que le nombre des émissions possibles par seconde sur une ligne télégraphique, pouvait atteindre et même dépasser le chiffre de 100; il y a donc là une marge qui a tenté bien des inventeurs. M. Meyer a eu l'idée suivante :

S'il était possible d'installer sur un même fil quatre appareils doubles distincts, c'est-à-dire composés chacun d'un manipulateur et d'un récepteur, de telle sorte que chaque manipulateur travaillât indépendamment de son voisin et à un autre moment de la durée que lui, le fil pourrait faire l'office d'un collecteur ramassant successivement ces diverses transmissions. Qu'à l'arrivée, par un jeu de mouvements synchrones, sorte de représentation de l'harmonie préétablie, les quatre récepteurs recueillent à tour de rôle les transmissions des manipulateurs qui leur correspondent, on n'aura pas, en apparence, changé

les conditions du mode de travail qui caractérise le système Morse, et cependant on aura obtenu un rendement quadruple.

En effet, on ne demandera à la manipulation qui est l'œuvre de l'employé, que le degré d'effort qui correspond à son activité, et que représente dans un service continu la moyenne de vingt dépêches à l'heure. Le gain est pris sur la capacité en quelque sorte inépuisable du fil pour débiter des signaux.

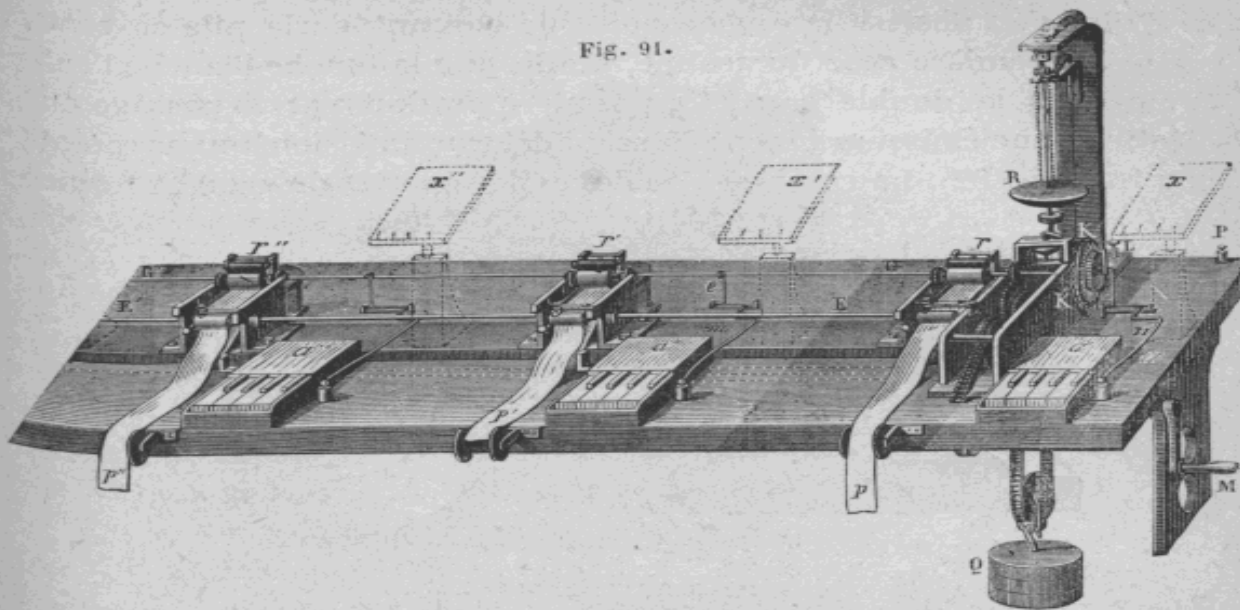
D'une première vue, on conçoit que l'office principal dans ce *steeple-chase* électrique sera dévolu au *distributeur*, c'est-à-dire à l'organe qui donne à chaque courant issu d'un des manipulateurs la direction qui l'amène à point au récepteur convenable. C'est une belle application du principe de la division du travail si fécond en industrie. Pour la télégraphie, où les fils représentent à la fois la grosse dépense et la principale difficulté, c'est le moyen d'augmenter le rendement d'un conducteur dans une mesure considérable. Il est juste de dire que, dans la piste suivie par M. Meyer, un ingénieur distingué, M. Rouvier, s'était déjà exercé. Dans les *Annales Télégraphiques* de 1860, on trouve la description d'un système fondé sur les considérations que nous avons indiquées, mais l'appareil de M. Rouvier est resté à l'état de projet. Nous devons aussi relever une différence dans le mode de *chercuchement*, si nous pouvons ainsi parler, indiqué par les deux inventeurs pour leurs signaux élémentaires. M. Rouvier organise la distribution de façon à intercaler entre deux signaux consécutifs d'un même manipulateur les signaux de tous les autres ; M. Meyer fait tous les signaux d'une même lettre sur un appareil, avant de laisser travailler le suivant.

Quelques détails spéciaux viendront ici à point.

La *fig. 94* représente l'appareil à quatre transmissions ; sur la table sont placés quatre claviers *a a' a'' a'''* et autant de récepteurs à hélice, *r r' r'' r'''*, munis chacun d'une bande de papier. Un seul mouvement d'horlogerie, entraîné par un poids et régularisé par le pendule conique *R*, anime les récepteurs par les deux arbres *gg'*, *cc'* : le premier fait tourner les hélices, le second produit le déplacement du papier. Les claviers ainsi que les récepteurs sont reliés d'un côté à la *terre*, de l'autre à la *ligne*, par l'intermédiaire du distributeur *K* ; une pile unique sert à toutes les transmissions. Nous allons passer en revue successivement les divers organes.

Distributeur. — C'est la pièce capitale de l'instrument ; en quatre intervalles de temps égaux, il dirige le courant de la pile, successi-

Fig. 91.



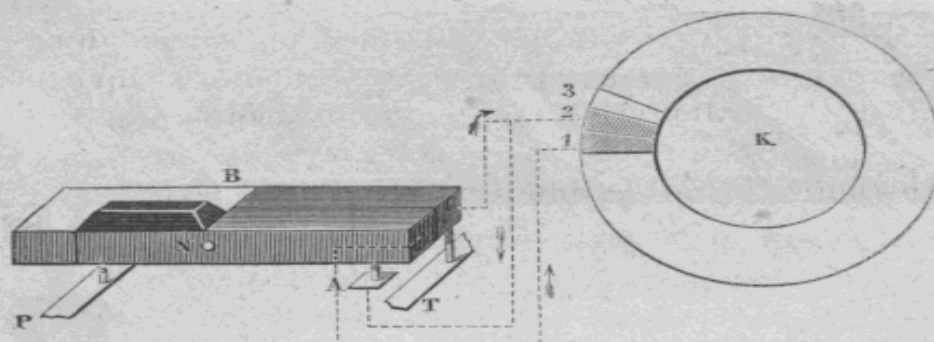
vement vers chacun des quatre récepteurs du poste qui expédie, et de là aux récepteurs du poste qui reçoit ; la dépêche est ainsi reproduite simultanément à l'arrivée et au départ. Le distributeur consiste en une roue de métal fixe et isolée, portant sur sa circonférence 48 divisions. Il y en a douze par quart de cercle, dont huit, groupées deux à deux, sont reliées par un faisceau de huit fils isolés aux huit touches du clavier ; les autres, au nombre de quatre, sont en relation avec la terre. Il y a ainsi quatre câbles de huit fils qui partent des quatre claviers et aboutissent au distributeur.

Les groupes, ou doubles divisions, sont au nombre de seize séparés par des vides, à raison de quatre par quart de cercle. La première moitié du groupe, $1/48^{\text{e}}$ de tour, donne lieu à un contact bref, le *point* ; le groupe entier produit le *trait* par une émission dont la durée est double. Une tige élastique ou frotteur, montée sur un arbre, parcourt la circonférence du disque et met successivement les quatre claviers et récepteurs en contact avec la ligne, de sorte que tout courant émis ou reçu pendant le passage du frotteur sur l'un des quarts de cercle, traverse le récepteur qui lui correspond. Chaque employé a ainsi la ligne à sa disposition pendant un quart de tour.

Manipulateur. — Il est composé d'un clavier à huit touches : quatre blanches et quatre noires, basculant entre la pile et le fil de terre. Nous avons vu comment elles sont reliées chacune aux divisions du distributeur.

Lorsqu'on abaisse la touche noire, le courant de la pile se rend dans la première case du groupe, tandis que la touche blanche l'envoie dans la double case. La première produit par le passage du frotteur une émission brève ; la seconde, une émission longue (point ou trait, *fig. 92*). La combinaison de ces deux sortes de signaux forme

Fig. 92.



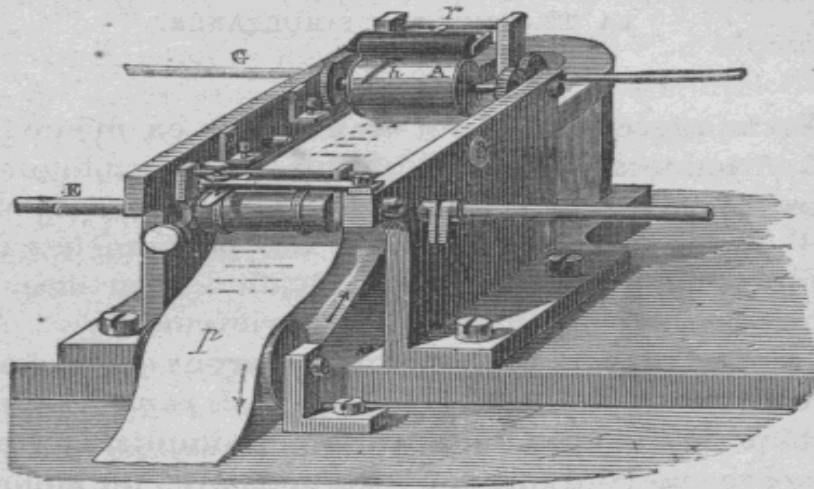
un alphabet conventionnel qui ressemble en partie à l'alphabet Morse.

Pour transmettre une lettre, on appuie simultanément autant de touches, noires ou blanches, que la lettre à reproduire renferme de points ou de traits, en ayant soin de partir invariablement de la gauche du clavier pour les lettres et de la droite pour les chiffres, en maintenant la touche abaissée pendant que le frotteur décrit le cadran. Un signal avertit du moment où la lettre est faite ; il y a à cet effet sur l'axe GG', en face de chacun des quatre claviers, un excentrique dont la fonction est de soulever après chaque lettre un petit marteau qui, retombant par son propre poids, produit un bruit léger et bat la mesure pour chaque employé.

Récepteur. — Chacun des récepteurs (*fig. 93*) a pour organe imprimeur une fraction d'hélice correspondant à $1/4$ de circonférence : l'ensemble forme une hélice complète dont le pas est égal à la longueur du cylindre. L'hélice du récepteur et le frotteur du distributeur opèrent leur rotation dans le même temps, celui-ci passant sur le premier quart de cercle pendant que la première hélice passe en face de la bande de papier, et ainsi des autres.

Un tampon encreur tourne librement sur chacune des hélices. Audessous d'elles se déroulent avec la vitesse d'environ 3 millimètres par tour, quatre bandes de papier sans fin, glissant chacune avec une parfaite adhérence sur la tringle d'un levier en équerre qui porte la palette d'un électro-aimant. La bande de papier suit les oscillations

Fig. 93.



du levier dont les amplitudes limitées par deux vis de butée, ne dépassent guère $1/10^{\circ}$ de millimètre. Les lettres s'y impriment de gauche à droite, dans le sens transversal, par points et traits. Cette disposition présente un double avantage : elle évite toute confusion entre deux lettres consécutives et réduit considérablement la longueur de la bande d'une dépêche ; on sépare les mots entre eux, en laissant passer à volonté un ou plusieurs tours d'hélice. Le levier qui oscille au-dessous de l'hélice sous l'action du courant porte un petit électro-aimant droit avec lequel il fait corps et dont le noyau sert d'armature à un aimant artificiel, le courant de la pile repousse l'armature et fait osciller le levier. La bande de papier suit ces oscillations et appuie sur l'hélice pendant un temps égal à la durée de l'émission, ce qui fournit un trait d'une longueur correspondante.

Il faut remarquer qu'avec le *télégraphe multiple*, on peut à volonté diriger toutes les transmissions dans le même sens ou en sens croisé, et utiliser indistinctement un ou plusieurs des manipulateurs. Sur la ligne de Paris à Lyon, où l'appareil est en service, il fournit un travail moyen supérieur à 80 dépêches par heure ; il remplace 4 fils desservis par l'appareil Morse et 2 fils desservis par l'appareil Hughes ; le prix de revient est environ quatre fois le prix d'un Morse.

L'Autriche et la Suisse ont installé le télégraphe multiple sur les grandes lignes de leur réseau.

M. Meyer a réussi récemment à faire fonctionner *six* manipulateurs par le principe de son *télégraphe multiple*.

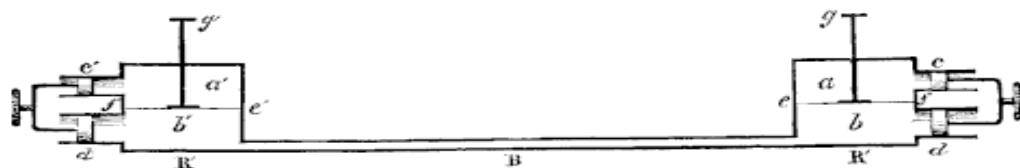
LA TRANSMISSION SIMULTANÉE.

Lorsqu'on annonce qu'on peut transmettre en même temps deux dépêches à chacune des extrémités d'un fil télégraphique, cette assertion étonne d'abord. Une telle notion dérange tellement les habitudes de l'esprit dans la perception des phénomènes de *courant*, qu'on est tenté de croire à une mystification. L'artifice cependant est très-correct ; nous allons l'indiquer brièvement.

Pour être mieux compris, nous emprunterons d'abord à un travail de M. *Marcel Deprez*, publié dans le *Journal de physique*, une solution élégante qui parle aux yeux, la transmission simultanée étant réalisée ici, non pas avec un courant *électrique*, mais avec un fluide incomparablement plus grossier *l'air atmosphérique*.

Figurons-nous deux réservoirs d'air, R et R' (*fig. 94*), divisés cha-

Fig. 94.



cun en deux capacités ab et $a'b'$ séparées par les membranes élastiques ef $e'f'$. Les pistons c , d et c' , d' , qui servent à produire les signaux, compriment l'air à la fois dans les deux capacités. Les surfaces des pistons c et d de l'un des réservoirs R sont dans le même rapport que les volumes d'air (a) et $(b + B + b')$, a étant le volume de la partie supérieure du réservoir, b celui de la partie inférieure, B le volume du tuyau de communication et b' celui de la partie correspondante du réservoir d'arrivée.

Les tiges des pistons c et d sont solidaires et se déplacent de quantités égales ; si l'on pousse ces deux pistons, les deux masses d'air sur lesquelles ils agissent sont comprimées proportionnellement à leur volume, par conséquent la loi de Mariotte indique que les pressions respectives s'accroissent dans le même rapport. Ces pressions restent égales si elles l'étaient d'abord, par suite la membrane ef ne subira pas de déplacement. Il n'en sera pas de même de la mem-

brane $e'f'$ qui pourra produire un signal extérieur au moyen de la tige g' .

Le même raisonnement appliqué aux pistons c', d' montrera que la membrane ef agira sur la tige g et que la simultanéité dans la transmission avec ce dispositif est acquise. Il faudrait toutefois faire une réserve sur l'application de la loi de Mariotte, qui ne serait plus rigoureuse si le tube de communication avait une longueur considérable; nous n'insisterons pas ici sur la solution complète du problème avec l'air, nous ne désirions fournir qu'une indication.

Nous arrivons à la question *électrique*. Parmi les divers auteurs qui ont résolu ce problème, il faut placer en premier lieu le docteur Gintl, de Vienne, qui indiqua un procédé dès 1853; mais ne voulant pas suivre la série historique, nous arrivons de prime saut au système de M. Stearns, qui est réputé aujourd'hui le plus perfectionné.

Immédiatement nous dirons que l'appareil de M. Stearns, baptisé le *Duplex*, reproduit l'effet de celui de M. Marcel Deprez. Le courant émis par une station fait fonctionner le récepteur du correspondant sans agir sur le récepteur de départ. Imaginons les deux récepteurs formés chacun d'un électro-aimant sur lequel deux bobines égales sont enroulées en sens contraire et admettons une disposition convenable des communications électriques. Un courant émis par la station A vers la station B traversant d'abord le récepteur de A, sera sans action sur lui tandis qu'il ira nécessairement vers B. Évidemment ce mouvement ne sera pas gêné par la manipulation du poste B qui, réciproquement, pourra se faire entendre de A.

Sous cette forme abrégée, un télégraphiste ne sera pas en état de constituer l'arrangement nécessaire; nous aborderons maintenant la description technique donnée par le journal « *The Telegrapher* ».

Les deux postes étant montés de la même façon, il suffira de décrire l'un d'eux; l'arrangement est représenté dans la *fig. 95*: R est le récepteur fonctionnant au moyen de la pile locale L', lorsque le circuit est fermé par l'armature du relais M. Ce relais M est la pièce capitale du *Duplex*; il est composé de deux hélices séparées, absolument identiques, enroulées autour du fer de l'électro-aimant. Le sens de l'enroulement étant le même, deux courants de même direction envoyés dans chacun des fils produisent un effet double; si les deux courants sont de sens opposé et de force égale, le relais sera

station combinées. On est alors en présence de deux courants égaux traversant le relais M dans des directions opposées, on l'a paralysé tout en émettant un courant vers l'autre station.

Pour étudier la réception à la station correspondante en nous servant de la même figure, nous supposons le courant lancé par cette station dans les conditions que nous venons d'analyser et arrivant à la station de départ, la symétrie des postes permet ce genre de raisonnement.

Considérons d'abord le cas où le manipulateur est ouvert à la station de départ. Le courant arrivant de la ligne passera par le fil 3, l'un des fils du relais M, et de là, par le fil 2, arrivera au point *a*. A cette bifurcation, deux directions le conduisent à la terre, l'une par les fils 4 et 5 et l'autre par le levier N, les points *g*, *h* et le fil 6. La résistance du rhéostat N¹ est assez grande pour qu'il passe peu de courant dans la première direction: même cette petite quantité traversant le relais dans le même sens que le courant principal ajoutera son effet à celui de ce dernier. A ce moment, le relais n'est parcouru par aucun courant opposé, la réception est assurée.

Considérons maintenant le cas où le manipulateur est fermé à la station de départ, c'est-à-dire, par conséquent, où les manipulateurs sont fermés dans les deux stations. Les deux piles principales sont à la fois dans le circuit de la ligne, elles y sont attachées par les pôles opposés; par conséquent, un courant d'une force double traversera la ligne et un des fils du relais de chaque station. Mais ce courant sera contrarié par celui d'une seule des deux piles circulant dans l'autre fil de chaque relais: les relais seront donc affectés par les différences entre le courant des deux piles et celui de l'une d'entre elles.

Pour compléter ces explications, désignons par P et Q les courants que produisent les deux postes. Le courant originaire se bifurque à chacun d'eux, la moitié allant sur la ligne, l'autre moitié revenant à la station par l'intermédiaire du rhéostat. Par conséquent la ligne et les fils 3 et 2, comprenant un fil du relais, sont traversés à chaque poste par un courant égal à $\frac{P}{2} + \frac{Q}{2}$, tandis que les fils 4 et 5 sont traversés par un courant $\frac{P}{2}$ à la première station et $\frac{Q}{2}$ à la seconde. Ce dernier courant suivant une direction opposée à celle du premier, chaque relais sera affecté par la différence entre les forces

des courants; le relais de départ par $\left(\frac{P}{2} + \frac{Q}{2}\right) - \frac{P}{2}$, le relais d'arrivée par $\left(\frac{P}{2} + \frac{Q}{2}\right) - \frac{Q}{2}$; ainsi chaque station reçoit le signal par le seul effet de la pile de l'autre station.

La *fig.* 95 représente encore deux rhéostats X^2 et X^3 que nous n'avons pas décrits. Ils sont rendus nécessaires par cette circonstance qu'il s'écoule un petit intervalle entre le moment où se produit le contact en *a* et celui de l'interruption du contact entre *g* et *h*. Pendant ce petit intervalle, le courant de la pile B réduite à un court circuit irait se perdre inutilement à la terre par le fil 6. On a remédié à cet inconvénient en intercalant les deux résistances X^2 et X^3 , on choisit arbitrairement X^3 et l'on fait $X^2 = (X^3 + \text{la résistance de la pile B})$; de cette façon la résistance que rencontre le courant de l'autre station est la même, que la communication avec la terre s'effectue par le fil 1 ou par le fil 6.

Nous indiquerons par un exemple numérique les rapports à établir entre toutes les résistances.

Supposons qu'on ait une ligne de 2000 unités de résistance,

que chaque fil du relais corresponde à	200	unités;
que la pile	<i>id.</i>	50 —
que le rhéostat X^3	<i>id.</i>	150 —
On donnera à X^1 une résistance de	2400	—
<i>Idem.</i> à X^2	<i>idem</i>	200 —

Le courant de départ, arrivé au point *a*, rencontre alors une résistance égale pour chacune des deux routes, savoir :

1° Un fil du relais de la station de départ	200	unités;
Ligne	2000	—
Un fil du relais de la station d'arrivée	200	—
Rhéostat X^2 à la station	<i>id.</i>	200 —
Total.	2600 unités.	
2° Un fil du relais de la station de départ	200	unités.
Rhéostat X^1	2400	—
Total.	2600 unités.	

Dans la pratique, la résistance de X^1 devrait être un peu plus faible parce qu'une partie du courant d'arrivée s'écoule dans la terre à partir

de a , par les fils 4 et 5 et le rhéostat X^1 . Il en résulte une diminution effective de 4 p. 100 pour la résistance offerte à la pile de la station correspondante; X^1 doit subir la même réduction. En manœuvrant l'appareil, on règle aisément cette résistance de façon à égaliser les courants parcourant le relais M dans des directions opposées. On reconnaît qu'on est au point, c'est-à-dire que la résistance X^1 est bien réglée, lorsque le relais est paralysé soit qu'on ferme ou qu'on ouvre le manipulateur k .

Quand on adopta pour la première fois cet appareil pour la correspondance entre New-York et Buffalo (distance 800 kilomètres), l'induction latérale qui se produisait sur la ligne et se manifestait par un courant de retour, n'était pas compensée dans le relais, la transmission était incertaine.

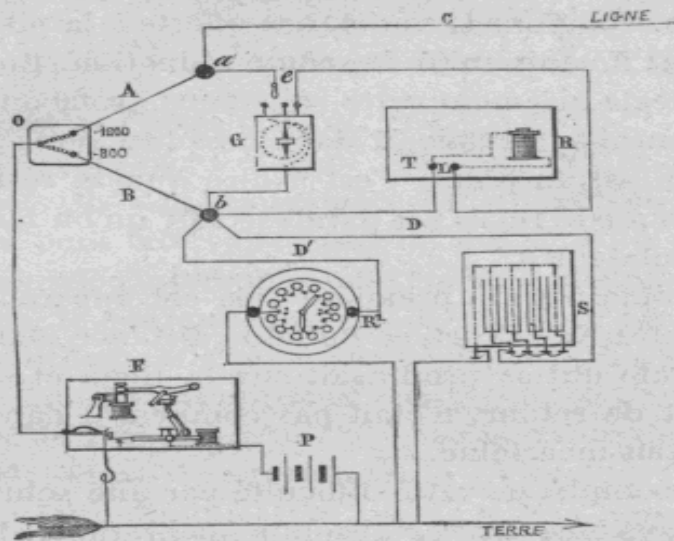
M. Stearns triompha de cette difficulté par une solution originale qui a rendu le système *Duplex* absolument pratique. Il employa un condensateur formé de couches alternées de feuilles d'étain et de papier enduit de paraffine; les feuilles de chaque substance sont réunies entre elles de façon à former deux séries distinctes isolées l'une de l'autre, dont l'une communique avec le fil 5 et l'autre avec la terre, ainsi que le montre la figure où le condensateur est représenté en C. La surface du condensateur était suffisante pour représenter un effet d'induction égal à celui de la ligne.

On a commencé en France à appliquer le procédé de M. Stearns sur la ligne de Paris au Havre avec l'appareil Hughes; on transmet ainsi 100 dépêches par heure, tandis qu'avec le mode ordinaire on ne dépasse pas le chiffre de 50.

M. Stearns ne s'en est pas tenu à la disposition que nous venons d'expliquer en détail. Le principe de la transmission simultanée peut être réalisé aussi avec la disposition connue sous le nom de *pont de Wheatstone*.

Nous indiquons ci-dessous (*fig. 96*) le montage du poste installé à Paris, sur la ligne du Havre avec l'appareil Hughes: A et B sont deux branches du pont présentant au courant les résistances de 1200 et 800 unités, les deux autres branches sont formées par la ligne C et les circuits D et D': elles aboutissent chacune à la terre. La pile P fait parvenir le courant au point o par l'intermédiaire du manipulateur P, enfin le galvanomètre G ou le récepteur R peuvent à volonté être successivement introduits dans le circuit qui relie a , b , au moyen du commutateur e .

Fig. 96.



On sait que lorsque le pont est équilibré aucun courant ne passe en *ab*, par conséquent les émissions de la pile P sensibles pour la ligne C n'affectent pas le récepteur R, ce qui est la condition pratique de la transmission simultanée. L'équilibre est obtenu au moyen du rhéostat R et du condensateur S, qui permettent de compenser la résistance dynamique et la charge statique de la ligne.

Sur le même principe, les inventeurs travaillent pour former ce qu'on appelle déjà le *Quadruplex*, c'est-à-dire l'appareil permettant d'échanger quatre dépêches simultanées.

CHAPITRE VI.

ÉTABLISSEMENT DES LIGNES.

LIGNES AÉRIENNES.

Conducteurs.

On a employé à l'origine, dans les premières lignes électriques suspendues sur des appuis, le fil de cuivre pour conducteur. On lui a maintenant substitué généralement le fil de fer de 3 à 5 millimètres de diamètre; en France, le fil de 4 millimètres est le type courant.

Le fil télégraphique doit être constitué avec le meilleur fer possible : on préfère le fer au bois lorsque le coke métallurgique n'est pas absolument pur. Les fils sont galvanisés, c'est-à-dire recouverts d'une couche de zinc qu'on obtient en les plongeant dans un bain de métal fondu après qu'ils ont été décapés par un acide. L'épreuve consiste à plonger successivement le fil de fer à diverses reprises dans une dissolution de sulfate de cuivre contenant une partie de sel pour douze parties d'eau. Le fil doit pouvoir subir seize immersions avant d'être mis à nu.

On a songé à remplacer les fils de fer par des fils d'acier dont la ténacité est plus grande, mais dont en revanche la conductibilité est moindre. Pour concilier les deux propriétés, on a imaginé en Amérique une composition particulière d'acier et de cuivre étirés ensemble ; ce procédé ne s'est pas répandu jusqu'ici dans notre pays.

La conductibilité d'une ligne télégraphique dépend principalement du soin avec lequel sont exécutés les joints des fils. Les bouts ont en moyenne une longueur de 400 mètres correspondant pour le fil de 4 millimètres au poids de 40 kilog. Pendant longtemps, pour raccorder les bouts de fil on s'est contenté de tordre l'une sur l'autre les deux extrémités ; on obtenait ainsi un joint qui portait le nom de torsade. Tantôt les deux fils étaient dans toute la longueur du

joint tordus également l'un sur l'autre ; tantôt sur chacune des moitiés du joint, l'un des fils servait d'axe d'enroulement à l'autre (*fig. 97*).

Fig. 97.



Le système des ligatures a été employé concurremment avec celui des torsades, on appliquait les deux fils l'un contre l'autre sur une longueur de 0^m,08 environ, puis, après en avoir recourbé les deux bouts pour former deux sortes de crochets, on les serrait fortement au moyen d'un petit fil de fer dont on rendait les spires jointives

Fig. 98.

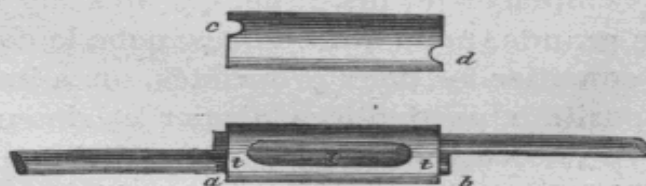


(*fig. 98*). La torsade et la ligature étaient souvent complétées par l'emploi de la soudure ; un alliage de plomb et d'étain était versé sur le joint convenablement décapé, de manière à augmenter l'adhérence et à assurer la continuité métallique.

Ces divers modes de raccordement présentaient cet inconvénient commun que la soudure prenait difficilement sur les ligatures comme sur les torsades et que l'adhérence se trouvait rapidement diminuée.

En France, on emploie maintenant des *manchons* en fer galvanisé dans lesquels les deux fils sont serrés et soudés. Le manchon proposé par M. Baron porte sur ses faces un trou *tt* (*fig. 99*) ; il est percé à

Fig. 99.

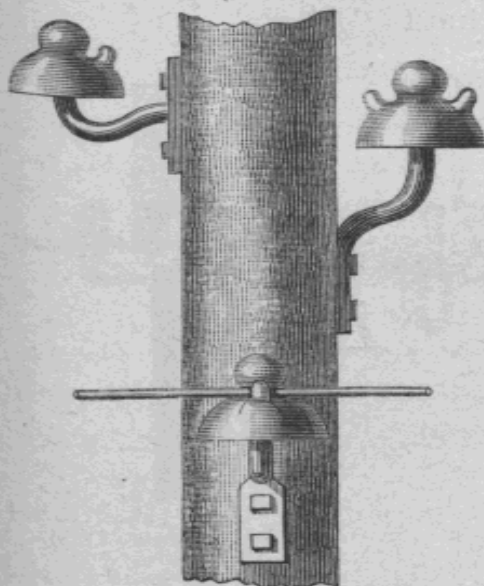


ses deux extrémités *a*, *b* d'orifices qui peuvent strictement donner passage aux deux fils. Ceux-ci sont introduits à frottement et juxtaposés dans le manchon, les extrémités sont repliées en crochets dans deux entailles *c*, *d* pratiquées sur la paroi pleine du manchon qui ont juste le diamètre requis. La soudure, formée de deux parties d'étain pour une de plomb, est alors introduite goutte à goutte avec un fer à

souder dans le trou latéral du manchon et vient baigner les deux fils qui se touchent déjà fortement par une de leurs arêtes; quelques gouttes assurent un contact parfait. Le joint ainsi préparé ne forme plus qu'une seule masse de métal dont la solidité et la conductibilité électrique ne laissent rien à désirer; ce système augmente notablement la conductibilité des lignes.

Autrefois on employait sur les lignes des *tendeurs* qui se plaçaient de kilomètre en kilomètre sur le fil pour permettre de le régler à

Fig. 100.

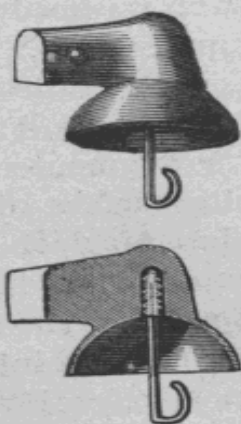


volonté. Cet appareil consistait essentiellement en deux tambours de fer galvanisé sur lesquels s'enroulaient les deux extrémités du fil, les deux tambours étaient attachés à des lames de fer qu'une clavette réunissait; l'ensemble du système était d'ailleurs porté par un support de porcelaine. On reconnut à l'usage que le tendeur offrait un certain danger pour la conductibilité de la ligne, on est actuellement d'accord pour supprimer cet intermédiaire et l'on arrête les fils environ tous les 500 mètres sur les supports d'une forme spéciale appelés *isolateurs-arrêts* (fig. 100).

Isolateurs.

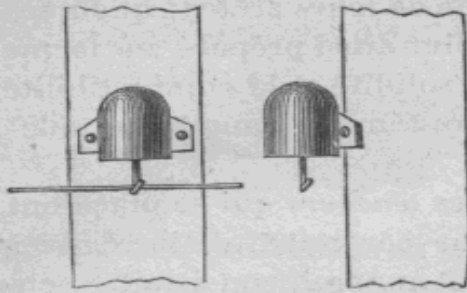
Les supports isolateurs sont en porcelaine, en verre ou en grès, quelquefois en caoutchouc durci ou en gutta-percha. Il n'y a pas lieu de décrire ici tous ces appareils; ils offrent quelques variétés dans leurs détails, mais ils sont tous analogues dans leur principe.

Fig. 101.



Ils ont en général la forme d'une calotte ou d'une cloche dont la concavité tournée vers le sol est mise ainsi à l'abri de la pluie et isole le fil du support. Tantôt le fil est porté par un crochet scellé dans la concavité de la

Fig. 102.



cloche ; celle-ci est alors fixée au poteau par des vis (*fig. 101 et 102*) ou par des brides de diverses sortes. Tantôt, au contraire, le fil est placé au sommet de l'isolateur dont la partie inférieure reçoit une tige recourbée qui le fixe au poteau (*fig. 103 et 104*). C'est à cette seconde catégorie qu'appartiennent les isolateurs-arrêts dont il a été fait mention plus haut (*fig. 100*).

Fig. 103.

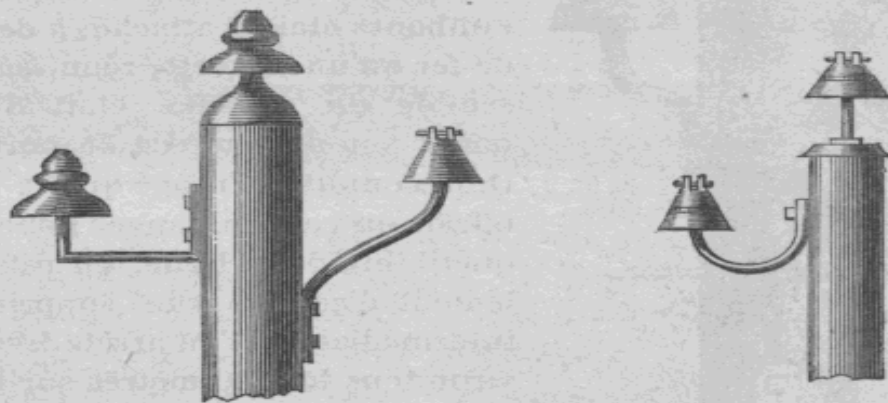
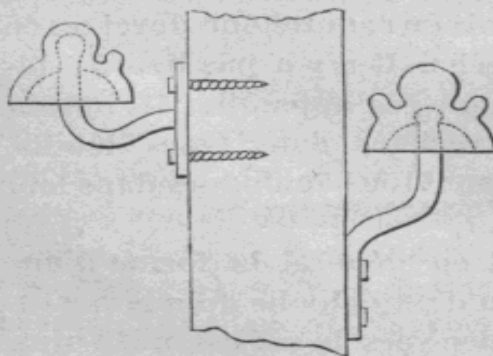


Fig. 104.



Dans tous ces appareils, l'isolement résulte principalement du bon état de la surface qui sépare le fil du support. Aussi doit-on entretenir avec soin la propreté de cette surface et ne pas y laisser accumuler la poussière, qui en raison de sa nature hygrométrique, forme, par les temps humides, une petite couche conductrice. Il est évident, d'ailleurs, qu'on a intérêt à augmenter les dimensions de cette surface dans les limites acceptables. Ainsi, en France, on a adopté un modèle plus large que celui qui servait primitivement. Dans quelques pays on a dans le même ordre d'idées cherché à interposer entre le fil et le support deux surfaces isolantes placées l'une dans

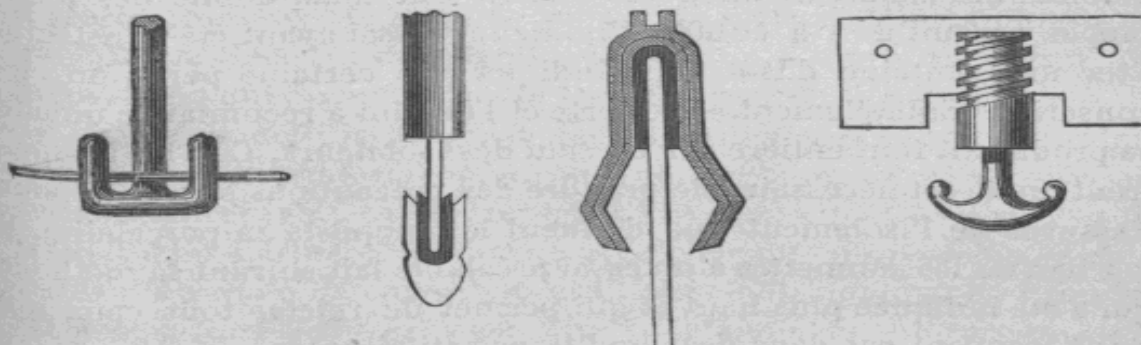
Fig. 105.



l'autre: tel est par exemple le modèle dont la *fig. 105* représente la coupe, qui est adopté en Russie et en Allemagne. On a essayé aussi d'émailler le crochet métallique qui supporte le fil, en vue d'introduire indépendamment de la cloche une seconde surface isolante, mais on a reconnu que l'émail s'use rapidement et use le fil.

La *fig. 106* indique quelques formes particulières de supports.

Fig. 106.



Les crochets fixés aux cloches ou les consoles qui les supportent étaient autrefois scellées au soufre; on a renoncé à ce scellement qui faisait souvent fendiller la porcelaine, on se sert maintenant d'un mastic formé de plâtre à mouler gâché avec une petite quantité de colle forte. Depuis quelque temps, on emploie dans plusieurs pays un système différent, l'isolateur est fixé sur sa tige au moyen de chanvre imprégné d'huile de lin ou de goudron; ce procédé, inauguré en Danemark, s'est répandu dans d'autres États.

Jusqu'à ces derniers temps, on n'avait attaché qu'une importance secondaire à comparer les différentes espèces de porcelaines au point de vue de l'isolement. M. Gaugain a trouvé dans cette étude des résultats curieux. Il a montré que toutes les pâtes de porcelaine n'étaient pas également isolantes; il y en a qui peuvent donner passage à une certaine quantité d'électricité à travers la masse même de l'isolateur entre le fil et le support. On peut constater par des essais directs le degré de conductibilité qu'offrent à cet égard les différents isolateurs; il suffit pour cela de placer des cloches renversées dans l'eau de telle sorte que la surface extérieure en soit presque entiè-

rement mouillée; on verse également de l'eau dans la cavité intérieure de manière à la remplir presque jusqu'au bord; on établit alors entre le liquide du dehors et celui du dedans une communication électrique passant par un galvanomètre très-sensible.

M. Gaugain a appliqué ce procédé d'investigation aux divers échantillons d'isolateurs usités en Europe: il a trouvé dans plusieurs une certaine *conductibilité de masse*. Cette conductibilité n'existe pas pour tous les isolateurs d'un même modèle, alors même qu'ils proviennent tous de la même fabrique; elle varie d'ailleurs dans les limites les plus étendues pour des échantillons qui paraissent absolument semblables: des isolateurs du même modèle ont ainsi donné des résistances variant de 1 à 10 000. Une ligne d'essai ayant été construite avec une centaine d'isolateurs indiqua une certaine perte, on circonscrivit graduellement cette perte et l'on vint à reconnaître qu'elle se produisait tout entière par un seul des isolateurs. Ces faits montrent qu'il est nécessaire de prendre des précautions spéciales pour s'assurer de l'isolement que donnent les supports en porcelaine. Il y a lieu de les soumettre à un essai préalable fait suivant la méthode qui a été indiquée plus haut et qui permet de rejeter tous ceux qui ne se trouvent pas dans des conditions satisfaisantes.

En même temps qu'il étudiait la conductibilité qu'offre la masse des isolateurs, M. Gaugain examina celle qu'ils offrent par leur superficie et qu'il appelle la *conductibilité superficielle*. Tous les vernis ne sont pas également isolants et ne se comportent pas de même dans l'air saturé d'humidité. Mais ils ne présentent pas à cet égard des différences considérables comme celles qui ont été signalées plus haut; ici on n'a guère rencontré que des variations du simple au double. On a constaté d'ailleurs l'influence que la forme de la surface exerce sur la conductibilité superficielle; les supports à double cloche, ceux dont la cavité est profonde, isolent naturellement mieux que les autres: il y a là des différences qui vont de 4 à 5 ou 6.

Les études de M. Gaugain ont également porté sur le scellement qui se fait dans la cavité des supports et pour lequel on emploie actuellement, comme nous l'avons dit, soit le plâtre, soit le chanvre goudronné. Ce sont des substances assez hygrométriques; elles n'améliorent pas l'état des isolateurs dont la pâte présente une conductibilité de masse. Si, au contraire, on emploie pour le scellement une substance isolante, comme la gomme laque, le caoutchouc durci ou le soufre pur, toute conductibilité de masse est détruite et les

supports les plus défectueux par eux-mêmes cessent d'offrir un passage au courant.

Poteaux en bois.

Les poteaux de bois sont usités dans tous les pays pour la construction des lignes télégraphiques. On emploie les bois durs dans les pays où ces bois sont assez communs. Dans certaines régions de l'Amérique, on se sert aussi de chênes dont la durée moyenne va à dix ou douze ans. En France et généralement en Europe, on se sert d'arbres résineux, de pins, de sapins, de mélèzes. On emploie quelquefois des aunes et des peupliers, mais on soumet ces bois à une préparation qui a pour objet de les préserver de la pourriture.

Les bois se détruisent par la décomposition des substances albumineuses qu'ils renferment; on en prolonge la durée soit en chassant ces substances, soit en les combinant avec une matière que l'on introduit dans l'arbre et qui forme avec elles un composé insoluble et stable; le sulfate de cuivre est ordinairement employé en France à cet usage. En Prusse, on s'est servi longtemps du chlorure de zinc; les Anglais emploient à peu près exclusivement la créosote, qui provient de la distillation des goudrons de gaz. On se sert aussi quelquefois de sulfate de fer, de chlorure de zinc, de chlorure de fer, de pyrolignite de fer, de chlorure de mercure et même d'huile de lin.

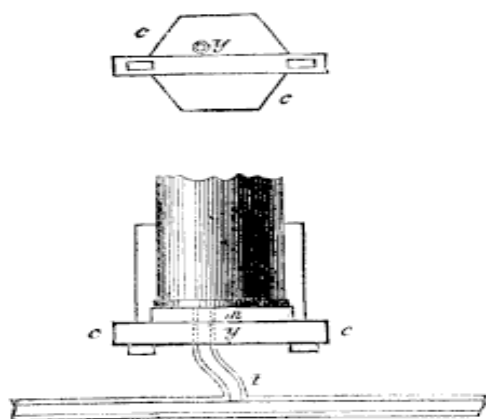
Il y a deux procédés principaux pour injecter les bois: c'est d'abord la méthode *Boucherie* qui consiste à infiltrer les arbres encore frais peu de temps après la coupe, et qui convient spécialement aux poteaux télégraphiques. c'est ensuite la préparation en *vase clos*.

Dans le système *Boucherie* tel qu'il a fonctionné d'abord et tel qu'il fonctionne encore en quelques endroits, les poteaux sont transportés en chantier immédiatement après avoir été abattus. On les dresse contre une plate-forme, le pied en haut, en leur donnant une légère inclinaison. La base appuyée contre la plate-forme est alors taillée en cône, et l'on y adapte une calotte en plomb où l'on verse une dissolution de sulfate de cuivre que l'on renouvelle à mesure qu'elle s'épuise. La dissolution, aidée par le mouvement de la sève qui s'écoule, pénètre jusqu'à l'extrémité du poteau; l'injection est complète au bout de cinq ou six jours.

La dissolution n'est ainsi entraînée dans l'arbre que par son propre poids et par le mouvement de la sève. On a songé naturellement à

l'y introduire au moyen d'une pression : de là l'emploi de la méthode désignée quelquefois sous le nom de *calottage du plateau*. Les arbres

Fig. 107.



sont placés dans une position très-inclinée, toujours le pied en haut; ils sont mis en regard d'un tuyau de plomb qui règne tout le long des chantiers. Un conduit y amène le liquide d'un réservoir placé à 7 ou 8 mètres plus haut. On place sur la base de chaque poteau un plateau de chêne *cc* (fig. 107) qu'on y calfate à l'aide d'une corde ou d'un ruban de caoutchouc, de façon à laisser une petite chambre *m* pour l'introduction du liquide. Il reste à établir une communication entre cette chambre et le tuyau où se trouve la dissolution

de sulfate de cuivre. Sur ce tuyau, s'embranché à cet effet, en regard de chaque poteau, un petit tube *t* en gutta-percha, terminé par une canule qu'on enfonce à frottement dur dans un trou pratiqué dans le plateau de chêne.

Ce procédé, qui demande une installation un peu plus compliquée que le précédent, s'emploie de préférence quand on a à opérer sur un grand nombre d'arbres. Cette méthode permet d'ailleurs d'injecter les arbres deux ou trois mois après qu'ils ont été abattus, surtout si l'abatage a eu lieu aux époques où la sève est parfaitement fluide, c'est-à-dire dans les mois de décembre, janvier, février et mars, ainsi que dans ceux d'octobre et de novembre.

Dans le procédé d'injection en vase clos, on place le bois dans une chaudière, on y introduit de la vapeur pour opérer une sorte de lavage, on y fait ensuite le vide pendant une heure pour ouvrir les pores du bois, et l'on amène enfin la dissolution antiseptique sous une pression de 10 à 12 atmosphères. Ce procédé est applicable à des bois abattus depuis longtemps, même à des bois tout à fait secs. Mais l'injection n'a lieu qu'à la surface, et l'on n'a obtenu ainsi pour la préparation des poteaux que des résultats médiocres.

Mentionnons encore les procédés qui servent à augmenter la durée des poteaux quand on ne peut faire les dépenses de l'injection. Depuis longtemps on goudronnait, dans ces cas, la partie inférieure de l'arbre jusqu'à 1 mètre environ au-dessus du sol; maintenant on pré-

lère carboniser le bois sur toute la surface. On écorce l'arbre et on l'expose au feu pendant quelques instants ; on le retire dès que la surface devient noire et que la carbonisation a pénétré à 4/2 millimètre environ de profondeur.

Cette opération oblitère les pores du bois et détruit les germes des vers et des insectes. Au lieu de présenter les bois au feu, on se sert ordinairement d'une lampe-chalumeau alimentée par des huiles de goudron ou de pétrole, et dont on projette la flamme sur la surface à carboniser. Dans les endroits où l'on doit préparer de grandes quantités de bois, on installe même une soufflerie qui projette la flamme d'un foyer de houille.

Construction des lignes.

Nous résumons ici, pour l'usage des ingénieurs, quelques renseignements numériques sur la construction des lignes aériennes.

Distance des poteaux de même hauteur. — Pour le fil de fer de 0^m,004, la distance normale est de 90 mètres, la flèche de 0^m,78 et la tension de 126 kilogrammes.

Distance des poteaux de hauteur différente. — Pour le fil de 0^m,004, la flèche au-dessous du point le plus bas étant de 0^m,78, on trouve que la distance *maxima* correspondant à des différences de niveau de

0 ^m ,50	1 ^m	2 ^m	6 ^m	7 ^m
--------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

est respectivement de

100 ^m	110 ^m	127 ^m	175 ^m	185 ^m
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Distance des poteaux en ligne courbe. — La résistance-limite des crochets pour la cloche de grand modèle étant admise de 8^k,3, on trouve pour la distance, avec le fil de 0^m,004, suivant les rayons de courbure de

500 ^m	700 ^m	1000 ^m	1400 ^m
------------------	------------------	-------------------	-------------------

les valeurs

33 ^m	46 ^m	66 ^m	90 ^m
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Variations de la flèche ou de la tension avec la température. — La flèche augmente avec l'élévation de température, mais la tension diminue. On a une compensation imparfaite des deux effets ; le tableau indique les résultats du calcul.

Flèches et tensions, suivant la température (fil de 0^m,004).

TEMPÉRATURE	RAYONS DES COURBES ET DISTANCES DES POTEAUX.			
	R — D —	500 ^m 33 ^m	1000 ^m 66 ^m	Alignement. 96 ^m
— 15°	Flèches.	0 ^m ,40	0 ^m ,42	0 ^m ,78
	Tensions.	126 ^k	126 ^k	129 ^k
+ 15°	Flèches.	0 ^m ,49	0 ^m ,65	1 ^m ,10
	Tensions.	68 ^k	81 ^k	89 ^k
+ 35°	Flèches.	0 ^m ,35	0 ^m ,89	1 ^m ,38
	Tensions.	38 ^k	59 ^k	71 ^k

Poteaux d'angle. — La cloche d'arrêt doit être placée suivant la bifurcation de l'angle des fils; elle peut être soumise à un effort de 50 kilogrammes qui correspond à une déviation de 22° 52' pour le fil de 0^m,004. Au delà de cette limite, il faut remplacer la cloche d'arrêt par une *poulie* d'arrêt.

Poteaux couplés. — Un poteau ordinaire de 6 mètres, enfoncé de 1^m,50 dans le sol, ne doit pas être soumis à la partie supérieure à un effort horizontal supérieur à 25 kilogrammes; on déduit de là d'autres limites de l'angle de déviation, qui dépendent du nombre des fils de la ligne. Voici les déviations *maxima* sur poteau simple, avec le fil de 0^m,004 :

	Un fil.	Deux fils.	Trois fils.
Déviations.	11° 22'	5° 40'	3° 48'

Pour des angles plus grands, il faut des poteaux couplés. Dans ces assemblages les poteaux sont en contact à leur sommet et écartés de 1^m,50 à leur pied; un boulon les réunit à la partie supérieure. Le plan des deux poteaux doit être dirigé suivant la bifurcation de l'angle des fils.

La résistance des poteaux employés est égale à environ cinq fois celle des poteaux ordinaires, d'où résultent les déviations maxima ci-dessous, avec le fil de 4 millimètres :

	Un fil.	Deux fils.	Trois fils.
Déviations.	59° 28'	34° 40'	17° 40'

Poteaux haubanés. — Ils sont employés pour les déviations plus grandes, le hauban est dirigé suivant la bissectrice extérieure de l'angle des fils.

Distance maxima entre les poteaux et les rails. — En ligne droite le fil ne doit pas approcher à moins de 1^m,50 du rail, à cause du vent; il faut ajouter la flèche à la température maxima, plus la saillie du fil sur le poteau, soit 0^m,40. On a ainsi la distance-limite = 1^m,50 + 1^m,38 + 0^m,40 = 2^m,98.

En courbe, il faut ajouter ou retrancher la flèche de l'arc sous-tendu par la droite qui réunit deux poteaux consécutifs : ajouter quand la ligne est à l'extérieur de la courbe, soustraire quand la ligne est à l'intérieur. Les poteaux devant être à l'intérieur de la courbe par rapport aux fils, on peut retrancher la saillie des fils dans le premier cas, tandis qu'il faut l'ajouter dans le deuxième.

Fil de 0^m,004.

RAYONS DES COURBES.	DISTANCE DES POTEAUX.	DISTANCE MAXIMA AU RAIL	
		à l'extérieur.	à l'intérieur.
500 ^m	33 ^m	2 ^m ,02	1 ^m ,68
1000 ^m	66 ^m	2 ^m ,88	1 ^m ,95

Plantation. — On emploie avantageusement pour cette opération des tarières ou sondes de 0^m,48 de diamètre, pour les poteaux de 6 mètres.

Distance des fils. — On admet ordinairement 0^m,30 dans le sens vertical; le dernier isolateur se place de 0^m,10 à 0^m,20 du sommet.

En ligne droite, on emploie la disposition *alternative*; en courbe, tous les isolateurs sont à l'intérieur de l'angle des fils, pour qu'en cas de bris le fil appuie contre le poteau. La même disposition est adoptée pour les supports d'angles.

Poteaux métalliques.

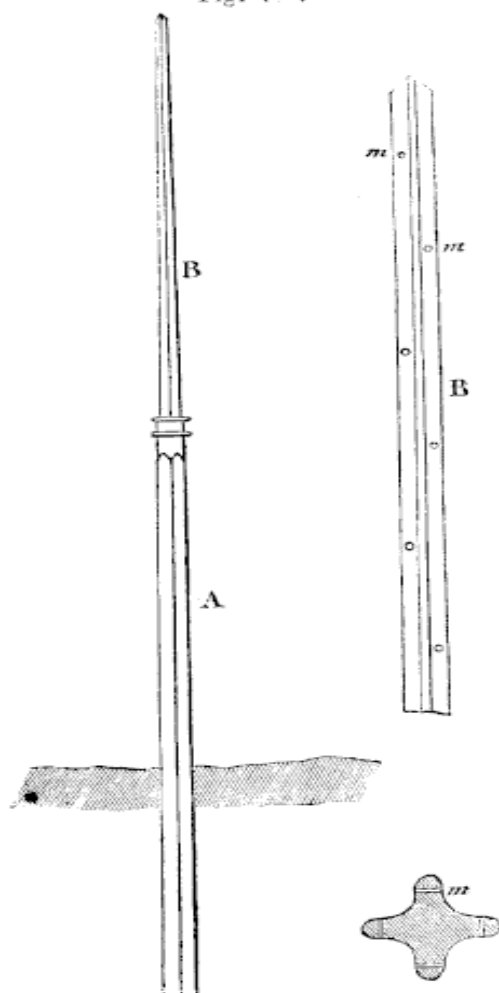
Il y a une tendance générale à substituer aux poteaux en bois les appuis en fer. C'est une question encore discutée : les frais d'établissement étant plus élevés, il faut que la durée soit plus grande. C'est au temps à prononcer.

Nous n'aborderons pas cette étude avec tous les développements qu'elle comporte; nous résumerons ici les expériences faites en France que nous trouvons dans un travail de *M. Morris*, publié dans les *Annales télégraphiques* de 1875.

Nous dirons d'abord que dans un grand nombre de cas particuliers, tels que les traversées des villes par les lignes électriques, les passages de rivières ou canaux, la substitution de lignes simples à des lignes doubles et triples, la jonction de lignes aériennes à des lignes souterraines, les poteaux en fer sont naturellement indiqués. Pour suivre la nomenclature adoptée par *M. Morris*, nous examinerons successivement les types construits en fonte, en tôle ou en fer laminé.

Poteaux en fonte. — A Paris, pour la traversée des boulevards, on a

Fig. 108.



employé il y a plus de vingt ans, dans un but décoratif, des colonnes en fonte du modèle des candélabres à gaz. Cette application ne s'est pas étendue parce qu'on a trouvé moyen avec le réseau des égouts, d'établir des lignes souterraines.

Poteaux en fonte et fer. — En 1865 on fit un essai, sur la ligne de Paris à Saint-Germain, d'appuis composés de colonnes en fonte surmontées de tiges en fer, à forme de croix. Ces poteaux, représentés *fig. 108*, portent de 6 à 12 fils, ils sont espacés de 50 mètres : le prix de l'unité est d'environ 40 francs.

Poteaux en tôle. — *M. Desgoffe* a construit des appuis qui se composent de plusieurs tronçons s'emboîtant les uns dans les autres sur une longueur d'un décimètre, chaque tronçon est formé de deux tôles repliées suivant une courbe destinée à lui donner une résistance considérable et présentant des rebords plats à l'aide desquels elles sont rivées l'une contre l'autre.

Le diamètre moyen des tronçons va en diminuant de la base au sommet, l'épaisseur diminue de même, de façon à réaliser approximativement le solide d'égale résistance.

Les isolateurs sont fixés, soit sur les nervures du poteau, soit sur des traverses en fer placées entre les tôles.

Une ligne de 1800 mètres, constituée avec 26 appuis, dont la hauteur varie de 10 à 14 mètres, supporte 34 fils. Le prix de revient de cette ligne d'essai a été de 230 francs par appui.

Un notable perfectionnement dans cette voie, indiqué par *M. Légalité*, consiste à remplacer la tôle par la fonte dans la partie servant d'embase; on peut arriver ainsi, pour un poteau de 6 mètres pouvant supporter 12 fils, à un poids de 65 kilogrammes pour un prix de 37 fr. 50.

M. Papin a présenté un autre type de poteaux en tôle et fer. Ces appuis sont formés de quatre fers cornières placés au sommet d'un carré et réunis par des pans de tôle. Le système affecte la forme d'un tronc de pyramide et est placé directement dans le sol ou fixé à une embase de fonte de même forme. On peut aussi employer seulement deux fers cornières sur lesquels sont rivés les bords de deux tôles repliées à angle droit; cette disposition facilite l'adaptation des isolateurs. Le poids varie de 54 à 372 kilogrammes pour des hauteurs comprises entre 6 et 18 mètres; le prix, à raison de 55 francs le quintal, serait ainsi compris entre 30 et 370 francs.

Poteaux en fer. — *M. Oppermann* a indiqué, en 1870, l'emploi des fers à T pour recevoir les isolateurs des lignes aériennes. Il utilise soit des fers à T simples, soit des assemblages multiples obtenus en combinant des pièces affectant la même forme. Suivant cet auteur, le poteau simple de 7 à 8 mètres de longueur coûterait de 18 à 20 francs. L'assemblage multiple se prête avantageusement à l'emploi comme poteau d'exhaussement; plusieurs applications intéressantes dans cet ordre d'idées ont été faites récemment par l'Administration française.

M. de la Taille, qui a construit plusieurs lignes avec des fers à T, a étudié cette question au point de vue de l'économie: il indique un prix de revient kilométrique inférieur à celui que donne l'emploi des poteaux en bois. Suivant lui, la fourniture des poteaux avec socles en béton (transport et plantation non compris) pour des lignes de 3 à 26 fils, les fils plus bas étant à 3 mètres du sol, s'établirait ainsi :

Lignes à	3 fils, prix par kilomètre	98 fr.
—	5 — —	136
—	9 — —	280
—	14 — —	357
—	26 — —	536

M. Loir a utilisé, pour la construction de poteaux métalliques, les fers *Zorès* à section arrondie ou en forme de trapèze. L'appui est formé de deux barres réunies suivant leur plate-bande à l'aide de rivets; à la partie supérieure un chapeau en tôle complète la forme en reproduisant les nervures, la partie inférieure s'appuie sur une plaque de forte tôle à laquelle elle est réunie par un fer cornière contourné suivant sa section.

Au point de vue de la résistance qu'il présente, un poteau ainsi établi offre une solidité et une élasticité remarquables; un poteau de 10^m,30, construit avec des fers *Zorès* tronqués, pesant 8 kilogrammes le mètre courant, a coûté 95 francs, dont 70 francs pour l'achat de la matière et 25 francs pour la fabrication.

Citons aussi un type construit par *M. Lemasson*. Quatre fers cornières écartés à la base, parallèles sur une longueur d'un mètre, puis inclinés de façon à former les arêtes d'une pyramide de 3 mètres de hauteur, se réunissant ensuite pour constituer la partie supérieure qui reçoit les isolateurs. Un poteau de 7 mètres, portant 16 fils, a coûté 108 francs.

Nous terminerons en indiquant les appuis construits à Manchester par la *Riband-Post Company*. Ces poteaux destinés à supporter 8 fils, ont 9 mètres de hauteur environ et sont à embase de fonte. Le fût est formé de fers plats contournés en hélice et réunis à l'aide de deux fers qui règnent sur toute la longueur; à chaque point de croisement des hélices, les fers sont rivés l'un à l'autre. Le poteau, d'aspect élégant, revient à 67 francs.

Poteaux mixtes. — L'attention s'est portée aussi sur l'emploi de poteaux mixtes à fût en bois et embase métallique; les essais tentés dans cette voie n'ont pas encore été généralisés.

Poteaux de raccordements et de coupures. — L'emploi des poteaux creux a fait naître l'idée de les utiliser comme poteaux de raccordement des fils aériens avec les lignes souterraines. Plusieurs systèmes de poteaux métalliques se prêtent à la réalisation de cette idée; de plus, lorsqu'on y adjoint une boîte de coupures, ils rendent faciles

les vérifications des lignes. Nous citerons dans ce genre les poteaux en tôle et les poteaux en fer Zorès.

Potelets métalliques. — Dans la traversée des villes, sur les ponts, etc., les poteaux sont souvent remplacés par des potelets fixés aux maisons.

Les tubes en fer étiré conviennent très-bien pour cette application. Nous citerons celle qui a été faite au pont de Beaucaire : deux consoles, dont l'une ornementée, supportent le potelet, un boulon traversant le tube sert à le fixer à chaque console. Les tiges des isolateurs présentent une section à talon qui les maintient fixés dans l'ouverture du tube destiné à les recevoir. Un potelet de 4 mètres de hauteur, pesant 23 kilogrammes, et du diamètre extérieur de 0^m,056, revient à 45 francs environ.

Une autre disposition simple consiste dans l'emploi d'une barre de fer à T sur la partie médiane de laquelle sont boulonnées les consoles des isolateurs.

Enfin on peut utiliser les fers Zorès pour la construction des potelets aux entrées de poste: M. Loir a réalisé ainsi des installations très-parfaites.

Devis d'une ligne.

Nous donnons dans les tableaux ci-dessous les éléments pour le calcul de la dépense d'établissement d'une ligne aérienne. Nous indiquons d'abord les séries de prix pour le matériel et l'outillage, nous terminons par le devis d'une ligne (main-d'œuvre).

Matériel.

DÉSIGNATION DES OBJETS		UNITÉ.	PRIX.
Fil de fer.	de 5 millimètres	Kilogr.	fr. c. 0,54
	de 4 millimètres	<i>id.</i>	0,54
	de 3 millimètres	<i>id.</i>	0,56
	de 1 millimètre	<i>id.</i>	0,94
Isolateurs à crochet galvanisé.		Nombre.	0,75
Vis 28,80.		<i>id.</i>	0,05
Isolateurs-arrêts scellés.		<i>id.</i>	0,85
Isolateurs-arrêts à double cloche, scellés.		<i>id.</i>	1,30

DÉSIGNATION DES OBJETS.	UNITÉ.	PRIX.
Vis 33/90.	Nombre.	0,10
Vis 33 70.	<i>id.</i>	0,09
Tiges en fer de 0 ^m ,50, avec isolateurs-arrêts scellés.	<i>id.</i>	1,70
Tiges en fer de 0 ^m ,80, avec isolateurs-arrêts scellés.	<i>id.</i>	2,10
Petits isolateurs-arrêts scellés (pour entrée de poste), avec vis.	<i>id.</i>	0,90
Manchons en fer pour fil {	de 3 millimètres.	<i>id.</i> 0,08
	de 4 millimètres.	<i>id.</i> 0,09
	de 5 millimètres.	<i>id.</i> 0,10
	de 5 mètres à 6 ^m ,50.	<i>id.</i> 5,50
	de 6 ^m ,50 à 7 ^m ,50.	<i>id.</i> 6,50
Poteaux injectés.	de 7 ^m ,50 à 9 mètres.	<i>id.</i> 9,00
	de 10 à 11 mètres.	<i>id.</i> 14,25
	de 12 mètres.	<i>id.</i> 21,75
Alliage pour soudure.	Kilogr.	1,50

Outils.

DÉSIGNATION DES OBJETS.	UNITÉ.	PRIX.
Clefs anglaises (petites).	Nombre.	fr. c. 3,95
Clefs à vis tête carrée.	<i>id.</i>	1,25
Clefs de traction et à vis tête carrée.	<i>id.</i>	1,55
Cordages à moufles.	<i>id.</i>	1,25
Échelles de 4 mètres en deux pièces.	<i>id.</i>	10,80
Échelles de 6 mètres en deux pièces.	<i>id.</i>	16,50
Échelles de construction de 4 mètres.	<i>id.</i>	9,00
Échelles de construction de 6 mètres.	<i>id.</i>	17,70
Fourneaux de plombier.	<i>id.</i>	3,50
Fers à souder.	<i>id.</i>	4,00
Soufflets de plombier.	<i>id.</i>	4,00
Hachettes.	<i>id.</i>	5,20
Limes tiers-point.	<i>id.</i>	0,45
Limes demi-roudes.	<i>id.</i>	0,90
Mâchoires à tendre.	<i>id.</i>	2,50
Moufles, grande dimension (Demi-paires de).	<i>id.</i>	3,50
Moufles, petite dimension (Demi-paires de).	<i>id.</i>	3,00
Pincers coupantes.	<i>id.</i>	4,30
Pincers plates.	<i>id.</i>	1,40
Sacs à outils en cuir.	<i>id.</i>	16 00
Sacs à outils en toile.	<i>id.</i>	0,68
Courroies de sacs à outils.	<i>id.</i>	1,25
Tourne-vis.	<i>id.</i>	0,45
Vrilles. . . {	grosses.	<i>id.</i> 0,54
	moyennes.	<i>id.</i> 0 24
	petites.	<i>id.</i> 0,15

**Devis estimatif des dépenses à faire pour l'établissement d'une ligne
télégraphique sur une voie ferrée.**

NUMÉ- ROS d'ordre.	DÉTAIL DES DÉPENSES.	SOMMES		OBSERVATIONS.
		à payer.	payées après régle- ment.	
		fr. c.		
1	Étude et tracé de la ligne, 5 kilomèt. à 1 fr. l'un.	5,00		
2	Distribution des poteaux à pied d'œuvre, y compris frais de chargement et de déchargement, 121 à 0 ^{fr} ,60 l'un.	72,60		
3	Boulons pour accouplements, 2 à 1 ^{fr} ,50 l'un. . .	3,00		
4	Entretoises pour accouplements, 2 à 4 ^{fr} ,50 l'une.	9,00		
5	Plantation de poteaux. $\left\{ \begin{array}{l} \text{simples de 6m,50, 83 à 1fr,50 = 124fr,50,} \\ \text{simples de 8m, 29 à 2fr = 58fr . .} \\ \text{simples de 10m, 5 à 3fr = 15fr . .} \\ \text{doubles de 10m, 2 à 8fr = 16fr . .} \end{array} \right.$	213,50		
6	Peinture des poteaux au sommet, 121 à 0 ^{fr} ,20 l'un.	24,20		
7	Pose des isolateurs et des fils de ligne et de dis- que, 19 kilomètres, à raison de 8 ^{fr} ,50 l'un. . .	161,50		
8	Enlèvement des anciens fils, 9 kilomèt. à 4 ^{fr} l'un.	36,00		
9	Arrachage des poteaux, y compris leur rentrée dans la gare, 10 à raison de 2 ^{fr} ,50 l'un.	25,00		
10	Frais de séjour du chef surveillant, 8 à 2 ^{fr} ,50 l'un.	20,00		
11	Frais de séjour du surveillant chef d'atelier, 16 à 2 ^{fr} ,50 l'un.	40,00		
		609,80		
12	Imprévu, 1/20 ^e environ.	30,20		
	Totaux.	640,00		

LIGNES SOUTERRAINES.

Dès l'origine de la télégraphie on a essayé d'établir des lignes sous terre. Des fils de cuivre, recouverts d'une gaine de gutta-percha, étaient placés dans une tranchée sur une couche de sable fin, mais les alternatives d'humidité et de sécheresse détériorent rapidement la gutta-percha : elle devient cassante, s'effrite et cesse d'isoler le fil. Aussi les premières lignes établies d'après ce système eurent une très-courte durée.

Lignes en bitume.

Au commencement de l'année 1855, l'Administration française chercha un nouveau moyen qui lui permit de faire disparaître les fils aériens dont l'intérieur de Paris commençait à être encombré. Elle s'arrêta alors à l'idée d'encastrer des fils de fer nus dans un mastic de bitume; un premier réseau fut construit d'après ce système pendant l'année 1855 par M. Saigey. L'établissement des lignes de ce réseau se faisait dans les conditions suivantes : on ouvrait une tranchée de 1^m,50 de profondeur environ, et l'on y plaçait une couche de sable fin et sec; sur le sable on déposait des feuilles de papier destinées à rendre la surface uniforme, puis on formait à l'aide de guides en bois une sorte de conduit régulier. Les fils de fer étaient tendus dans la tranchée sur une longueur de 80 mètres environ et maintenus à leur extrémité par une planchette fixée en terre et munie de crochets. On coulait ensuite à chaud un mastic composé de la façon suivante :

Asphalte.	59 kil.
Bitume épuré.	7
Gravier fin.	34
	100 kil.

Comme un pareil mastic ne se fige pas instantanément, on ne pouvait le couler tout d'un coup sur la portée entière des fils. On avait alors recours à un artifice particulier : quand les fils étaient tendus dans la tranchée, on les maintenait par une série de peignes en fonte espacés les uns des autres de 25 centimètres. Les fils passaient entre les dents verticales de ces peignes, leurs rangées horizontales étaient séparées par des volets mobiles autour d'une charnière et qui se rabattaient quand les fils étaient en place. Le faisceau se trouvait ainsi disposé en une série de petites cases ayant une longueur de 25 centimètres. On coulait alors le bitume chaud de manière à laisser alternativement une case vide et une case pleine; on attendait que le mastic fût refroidi et solidifié, à ce moment on retirait les peignes en faisant jouer les volets qu'on avait eu soin de placer de part et d'autre du côté de la case vide. Les peignes enlevés, on avait une série de blocs bitumineux longs de 25 centimètres et séparés par des espaces vides d'égale longueur :

on pouvait alors verser le mastic dans les intervalles vides sans craindre la déformation du faisceau, car le bitume de la première coulée se réchauffait assez pour se souder à celui de la seconde, mais pas assez pour permettre le déplacement des fils. Une légère coulée générale était faite ensuite à la partie supérieure des blocs pour perfectionner les raccordements.

Ce premier réseau donna des résultats satisfaisants pour l'époque ; toutefois on remarqua que les fuites de gaz faisaient perdre aux blocs une partie de leur résistance, leur matière ordinairement noire et très-dure prenait une teinte chocolat et une consistance molle ; les terrains calcaires en diminuaient également la dureté, les blocs prenaient dans ce cas une couleur grisâtre.

CÂBLES EN TRANCHÉE.

Ces diverses raisons firent qu'on renonça à construire de nouvelles lignes en bitume. Au commencement de l'année 1858, on employa des câbles garnis d'une enveloppe de plomb.

Cinq fils de cuivre rouge de 1 millimètre $1/4$ de diamètre, recouverts chacun de deux couches successives de gutta-percha ayant chacune 65/100 de millimètre d'épaisseur, et enveloppés chacun dans un ruban de coton goudronné, étaient tordus en spirale, puis entourés d'un ruban goudronné et renfermés dans un tube de plomb. Le câble dans son tube pesait 875 grammes par mètre courant.

Ces câbles étaient fabriqués par longueurs de 700 mètres environ. Le fil de cuivre était d'abord amené à la longueur voulue au moyen de soudures à l'argent. Pour le couvrir de la première gaine isolante, on le faisait monter verticalement à travers un petit cylindre dans lequel il était centré par un guide placé à la partie inférieure du cylindre et par une tension exercée à la partie supérieure de l'atelier. La gutta-percha, introduite par une porte dans un conduit horizontal et foulée par un piston, entraînait latéralement dans le petit cylindre, s'attachait au fil et séchait avant d'atteindre le haut de l'atelier ; une opération semblable donnait au fil la seconde couche.

On essayait alors les bottes de fil recouvert en les noyant dans une cuve d'eau acidulée. Les fils reconnus bons étaient soumis à une nouvelle ascension verticale en passant par le centre d'un disque

tournant, sur lequel était fixé l'axe d'un rouleau qui dévidait le ruban goudronné.

Le câblage se faisait ensuite par une méthode analogue. Cinq bobines mobiles sur leurs axes et portant les fils, étaient disposées sur un grand disque horizontal animé d'un mouvement de rotation. Le câble, formé à 1^m.50 environ au-dessus du disque, montait encore et venait ensuite se revêtir du double ruban goudronné en passant de nouveau par le centre d'un petit disque muni de deux rouleaux mobiles : les deux rubans s'enroulaient ainsi dans le même sens, et on les surveillait pour que l'un recouvrit toujours la moitié de l'autre. On trouve encore dans les procédés de fabrication qui viennent d'être décrits le principe de toutes les opérations qui servent aujourd'hui à la préparation des câbles souterrains et même des câbles sous-marins.

Le réseau de 1858 fut bientôt hors de service. L'absence d'une enveloppe résistante capable de défendre les câbles contre les chocs et autres accidents extérieurs et l'influence du gaz sur la gutta-percha amenèrent une prompte détérioration.

Le système de lignes souterraines, modifié par M. Baron, est ainsi constitué :

L'âme de chaque conducteur est formée, non plus d'un fil de cuivre unique, mais d'une cordelette de quatre torons enroulés en spirale. On a ainsi la chance qu'en cas de rupture les quatre brins ne rompent pas à la fois, et l'on se trouve par conséquent moins exposé à des interruptions totales. Chaque conducteur est d'ailleurs recouvert de deux couches successives de gutta-percha, de façon à atteindre 5 millimètres de diamètre. Ces fils sont alors entourés d'un guipage de coton goudronné, d'un ruban goudronné, et enfin d'un dernier guipage non goudronné; les rubans et enveloppes de coton sont injectés au sulfate de cuivre avant de recevoir le goudron. On a soin, d'ailleurs, de n'employer que du goudron de bois, le goudron de gaz attaquant la gutta-percha. On prépare ainsi des câbles de trois, quatre, cinq, six ou sept conducteurs, suivant les besoins du service. Les câbles à sept fils sont très-usités, ils présentent la disposition la plus convenable pour le câblage.

Mais l'important était de préserver les câbles contre les chocs et les accidents extérieurs; c'est ce résultat qu'on a heureusement atteint en employant des tuyaux de fonte semblables à ceux qui servent pour la conduite de l'eau et du gaz. Ces tuyaux sont placés

au fond d'une tranchée par longueurs de 2^m,50, leur diamètre est proportionné au nombre de câbles qu'ils doivent recevoir; ils sont soigneusement raccordés les uns aux autres à l'aide de bagues en plomb mâtées à froid. Quand la ligne doit faire un coude, quelques tuyaux de plomb courbés servent à effectuer le changement de l'alignement. Tous les 50 mètres, dans les alignements droits et de chaque côté des angles, on place des tuyaux d'un diamètre supérieur qui peuvent glisser à droite et à gauche sur leurs voisins et forment ainsi manchon. Quand une certaine longueur de conduits est posée, on bouche la tranchée en la laissant ouverte seulement au-dessus des manchons; ceux-ci ne sont mis en place qu'après l'introduction des câbles.

Pour introduire les câbles on procède comme il suit : une longue ficelle a été préalablement passée dans les tuyaux au moment de leur descente dans la tranchée. Quand on a installé un alignement droit d'environ 200 mètres, la ficelle sert à introduire une grosse corde dans toute la longueur de la ligne. Une des extrémités de la corde est enroulée sur un treuil fixé au sol, et l'autre est attachée à une petite barre de fer munie de goujons auxquels on fixe les câbles à introduire. Pour diminuer les frottements, cette barre porte trois galets en fonte disposés de façon que deux d'entre eux soient dans un plan perpendiculaire à la surface du troisième. Les câbles, afin d'être introduits facilement, tournent dans la gorge d'une poulie dont le plan est vertical et dont la tangente horizontale est située dans le prolongement de l'axe des tuyaux.

Quand la ligne est achevée, on fait glisser les gros tuyaux ou manchons pour les amener en place, et on les raccorde à leurs voisins avec du plomb mâté à froid. Ces manchons, repérés avec soin, servent de regards pour la recherche des défauts qui peuvent se manifester sur la ligne. En cas de dérangement, on les découvre, on les descelle et on les fait glisser sur les tubes voisins; le câble est mis à nu et les fils peuvent être coupés et essayés. Si l'on a reconnu qu'un fil est mauvais entre deux manchons, on coupe le câble qui le contient et on le tire par une de ses extrémités en ayant soin d'attacher une corde à l'autre bout; cette corde sert ensuite à remettre en place le câble réparé, ou celui par lequel on veut le remplacer.

Ce système a été appliqué à l'établissement d'une grande partie des lignes souterraines de Paris et de plusieurs grandes villes; les tuyaux de fonte protègent efficacement les câbles contre les chocs.

Si les joints sont bien faits, le conduit est étanche et empêche toute infiltration de gaz ; la gutta-percha, couverte d'enveloppes de coton goudronné, est dans de bonnes conditions pour se conserver fort longtemps. Enfin les réparations se font facilement et à peu de frais si les manchons sont bien repérés.

Câbles en égout.

Les égouts de Paris ont donné des facilités spéciales pour l'installation des lignes souterraines : les câbles ont été suspendus aux parois et soutenus par des crochets de fer. Ces crochets ont la forme de fers à cheval, une de leurs extrémités porte une tige de 10 centimètres de longueur qui sert au scellement et qui est tout entière enfoncée dans la maçonnerie, l'autre extrémité est libre et arrondie. Leur ouverture est telle que les câbles y passent avec un certain frottement, leur partie renflée est plus ou moins grande, selon le nombre de conducteurs que la ligne doit recevoir.

Cette forme des supports permet de descendre facilement les conducteurs sur les trottoirs des égouts. On peut donc, sans difficulté, les examiner, les réparer et les mettre à l'abri des yeux des plombiers qui entretiennent les conduites d'eau. Elle empêche qu'un choc involontaire ne fasse tomber les câbles dans la cuvette.

Les tuyaux de plomb qui forment la dernière enveloppe ont une épaisseur de 2 millimètres et une longueur de 100 mètres. Il était très-important de les raccorder bout à bout, de telle façon que la fermeture fût parfaitement hermétique : les gaz des égouts décomposeraient en effet très-rapidement la gutta-percha qui serait exposée à leur action.

Pour les premières lignes établies en 1860, dans l'égout de la rue de Rivoli, on se servit de l'alliage fusible de Darcet, dont le point de fusion est inférieur à 100 degrés. On recouvrit les joints, à l'aide d'une matrice, d'une couche de cet alliage assez mince pour que la température de la matière fondue ne détériorât pas la gutta-percha des câbles. Ce procédé, qui a donné d'excellents résultats, exigeait trop de soins et n'était pas assez pratique pour être employé. Aussi s'est-on servi dans l'égout collecteur d'Asnières, qui contient 40 kilomètres de câbles à 5 fils, d'un système de serrage à froid combiné avec l'application d'un mastic durcissant à l'humidité et faisant corps avec l'oxyde de plomb qui recouvre les tuyaux.

Nous donnons dans la Pl. II la disposition pour l'exécution du travail d'une ligne souterraine en tranchée et en égout; les légendes indiquent suffisamment la nature des opérations, les détails indiquent l'outillage employé.

Renseignements divers.

Le réseau souterrain de Paris a un développement considérable, le lecteur s'en fera une idée par le tableau ci-dessous.

LONGUEUR DES SECTIONS		DÉVELOPPEMENT DU CABLE A :				DÉVELOPPEMENT des conducteurs.
en tranchée.	en égout.	un conducteur.	trois conducteurs.	cinq conducteurs.	sept conducteurs.	
kilom. 56,822	kilom. 130,181	kilom. 58,370	kilom. 32,066	kilom. 53,328	kilom. 462,441	kilom. 3,655,183

Nous donnons ci-dessous un exemple du bordereau et du devis applicable à l'établissement d'une ligne souterraine en tranchée de 14^k,400 de longueur.

Bordereau des prix applicables aux travaux d'établissement d'une ligne souterraine en tranchée.

(Tous les prix du présent bordereau comprennent les faux frais et les bénéfices de l'entrepreneur et sont frappés du rabais de l'adjudication, à l'exception de ceux portés dans la première section, lesquels se rapportent aux heures et journées d'ouvriers.)

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité.
<i>Première section.</i>		
1	Une heure de plombier.	fr. c. 0,60
2	Une heure de poseur de conduites.	0,70
3	Une heure d'un aide.	0,40
4	Une heure d'un terrassier.	0,40
5	Une heure d'un manœuvre.	0,40
6	Une journée de voiture à un cheval (compris le conducteur).	12,00

NUMÉ- ROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES OUVRAGES.	PRIX de l'unité.
7	Une journée de cheval.	fr. c. 3,00
8	Une journée de gardien.	3,50
9	Une nuit de gardien.	4,50
<i>Deuxième section.</i>		
10	Un kilogramme de plomb en tuyaux de 6 millimètres d'épaisseur. . .	0,85
11	Un kilogramme de fer pour frettes, accessoires, etc.	1,00
12	Le mètre cube de moellons bruts.	6,00
13	Le millier de briques.	54,05
<i>Troisième section.</i>		
14	Pose en terre d'une conduite en fonte de 70 millimètres de diamètre intérieur, par mètre linéaire dont suit le détail.	2,35
	Démontage de chaussée ou de trottoir, remise en place provisoire.	0,60
	Ouverture de la tranchée, façon des niches et dressement du fond.	0,75
	Garde, barrage, étalement et abri.	0,15
	Transport de terres excédantes.	0,15
	Transport des tuyaux à pied-d'œuvre.	0,05
	Descente des tuyaux et mise en place dans la tranchée.	0,35
	Remblai et pilonnage.	0,30
	Total égal.	2,35
15	A déduire, lorsqu'il n'y aura pas à démonter de chaussée ou de trot- toir, par mètre.	0,35
16	A ajouter, par décimètre de profondeur lorsque la tranchée aura plus d'un mètre.	0,10
17	Confection d'un joint pour raccordement de tuyaux, plomb, corde gou- dronnée et toutes autres fournitures accessoires comprises.	2,75
18	Confection d'un joint pour raccordement de tuyaux et de manchons, plomb et toutes autres fournitures accessoires comprises.	2,75
19	Coupure de tuyaux.	1,10
20	Pose d'une frette en fer.	1,20
21	Revêtement des coudes en plomb à l'aide d'une maçonnerie en briques et ciment, prix du mètre cube, toutes fournitures comprises.	64,40
22	Chaque scellement en ciment de de profondeur, y compris le refouillement des trous et le ragrément d'enduit.	"
23	Introduction des câbles dans les tuyaux, main-d'œuvre, etc. Location des engins par mètre.	0,05

Devis des travaux.

(Ligne en tranchée de 14.400 mètres.)

NUMÉ- ROS d'ordre.		IMPOR- TANCE du travail.	VALEUR de l'unité.	SOMME à valoir.
1	Pose en terre d'une conduite en fonte de 70 millim. de diamètre intérieur, avec manchons de 110 millim. et joints à emboîtements.	14 400 ^m	fr. c. 2,35	fr. 33 840
2	Confection de joints pour raccordement de tuyaux. . .	4 500	2,75	12 375
3	Confection de joints pour raccordement de manchons. .	600	2,75	1 650
4	Pose de frettes.	100	1,20	120
5	Coupures de tuyaux.	400	1,10	440
6	Fournitures de frettes en fer.	300 ^k	1,00	300
7	Fourniture de tuyaux en plomb pour courbes.	500 ^k	0,85	425
8	Tirage des câbles (quatre câbles à sept conducteurs). .	43 200 ^m	0,05	2 160
9	Imprévu (1/20).	"	"	2 565
Total.				53 875

Les renseignements qui précèdent s'appliquent à la main-d'œuvre de terrassement et de plomberie; suivant les localités et la concurrence des entrepreneurs, des rabais notables sont obtenus sur ces prix. Il faut y ajouter la main-d'œuvre pour le travail des soudures des câbles et la valeur du matériel. Dans l'exemple, les tuyaux de fonte de 0^m,074 valent 3^f,75 le mètre, pesant 18 kilogrammes; les manchons pèsent 25 kilogrammes; les câbles à 7 conducteurs sous plomb valent 2^f,36 le mètre. Sous guipure (sans plomb), le prix est réduit à 1^f,85.

Nous n'insistons pas sur les lignes en galerie. Le prix de la pose des crochets et des câbles varie beaucoup suivant les difficultés d'accès et le type des égouts.

CHAPITRE VII.

DÉRANGEMENTS DES LIGNES.

MESURE DES COURANTS.

Un assez grand nombre d'instruments sont employés à la mesure des courants électriques. Ils consistent ordinairement en une aiguille aimantée qui est dirigée, soit par le magnétisme terrestre, soit par un gros aimant permanent; elle est placée au milieu d'un cadre entouré d'un certain nombre de tours de fil recouvert; les courants qui passent dans le fil dévient l'aiguille et l'on détermine leur intensité par l'amplitude de cette déviation. On construit ainsi, soit une boussole de tangentes, soit une boussole de sinus.

Pour compléter les indications données par les *galvanomètres*, on emploie aussi des appareils propres à mesurer les *résistances*.

Les électriciens n'ont pas encore établi entre eux une entente pour fixer l'unité de résistance. Une Commission spéciale, nommée en 1862 par l'Association britannique pour l'avancement des sciences, a étudié, dans des vues d'ensemble, la question des unités à adopter pour les forces électriques; elle a proposé des unités déterminées par les propriétés mécaniques de l'électricité. Il n'entre pas dans notre cadre d'expliquer ce système; nous nous bornerons à indiquer les unités anciennes encore admises dans plusieurs pays. En Angleterre, celle qui porte le nom d'unité Siemens est donnée par une colonne de mercure d'un mètre de hauteur et de 1 millimètre carré de section prise à la température de 14 degrés centigrades. En France, on prend souvent pour unité la résistance d'un kilomètre de fil de fer de 4 millimètres de diamètre; cette unité équivaut, à très-peu près, à dix unités Siemens; cette circonstance facilite les calculs de transformation.

Lorsqu'on dispose d'une pile constante, il y a un moyen très-simple pour mesurer la résistance d'un conducteur; on introduit celui-ci dans un circuit donné, et l'on note la déviation du galvanomètre. On le remplace ensuite par une série de bobines de résistance connue, dont on fait varier le nombre de manière à obtenir la même déviation. Toutefois, ce procédé n'est pas applicable si l'on n'a pas sous la main une quantité suffisante de résistances étalonnées pour produire dans le galvanomètre la déviation voulue.

On peut alors tourner la difficulté en établissant une dérivation entre les deux bornes du galvanomètre. On diminue ainsi, dans une aussi forte proportion qu'on veut, la sensibilité de l'aiguille, et l'on obtient le résultat cherché si l'on connaît exactement le rapport des résistances de la dérivation et du fil galvanométrique. Il faut ajouter pourtant que les expériences faites par ce procédé ne comportent pas une grande précision, parce qu'on néglige nécessairement des phénomènes accessoires qui se produisent dans les fils, l'échauffement par exemple.

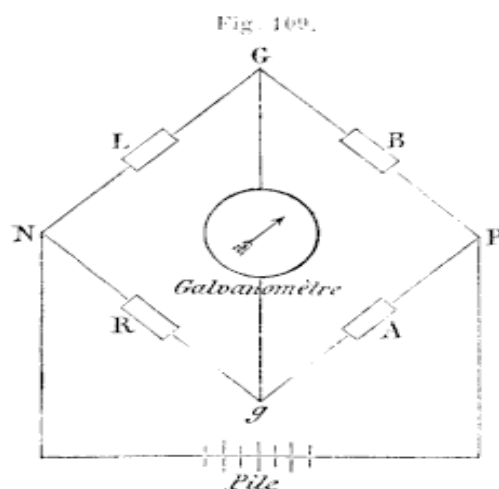
Au lieu d'introduire une dérivation dans le galvanomètre, on peut former les deux circuits (celui où l'on met le conducteur à mesurer et celui des résistances connues), avec des piles dont les forces électro-motrices sont différentes. La pile du premier circuit sera, par exemple, cent fois plus puissante que celle du second. On étend ainsi l'échelle des résistances qu'on peut mesurer; mais l'appréciation exacte du rapport des forces électro-motrices ne laisse pas de présenter quelque difficulté.

Ces divers procédés peuvent suffire, à la rigueur, pour mesurer la résistance des fils télégraphiques aériens; mais ils ne pourraient servir à mesurer la résistance d'un conducteur sous-marin, à cause de la grandeur de cette quantité. On peut alors faire usage d'un galvanomètre qui rentre dans la catégorie des appareils différentiels. Il se compose d'abord d'un galvanomètre ordinaire très-sensible, puis d'une bobine dont la résistance est connue. Cette bobine, dont l'axe est vertical, peut se mouvoir horizontalement le long d'une règle graduée. Quand un courant traverse le fil de la bobine, il agit sur l'aiguille aimantée et la fait dévier. Mais cette déviation est incomparablement moindre que si le courant circulait dans le cadre même du galvanomètre. Pour chaque position que la bobine peut occuper le long de la règle graduée, on détermine le rapport entre les actions qu'un même courant exerce sur l'aiguille aimantée, suivant qu'il passe

dans le fil du cadre ou dans celui de la bobine. Supposons que, pour une certaine position, le rapport soit $\frac{1}{3.000}$. On forme alors un premier circuit avec une forte pile (cent éléments, par exemple), le conducteur à mesurer et le cadre du galvanomètre. Avec une petite pile (cinq éléments, par exemple), le fil de la bobine et un rhéostat, on forme un second circuit agissant sur l'aiguille en sens contraire du premier. On fait alors varier la résistance du rhéostat jusqu'à ce que les deux actions exercées sur l'aiguille l'équilibrent, et que celle-ci soit ramenée au zéro. On a donc (en admettant que le rapport des forces électromotrices des deux piles soit le même que celui du nombre de leurs éléments) la résistance cherchée = $(20 \times 3.000) R$, R étant la résistance du rhéostat.

MM. Siemens ont construit d'après ce procédé des appareils qui permettent de mesurer des résistances s'élevant jusqu'à 3 milliards d'unités (Siemens) sans que le rhéostat R dépasse 10.000 unités.

Un autre moyen de mesurer les résistances est fondé sur ce qu'on appelle le parallélogramme ou *pont de Wheatstone*. Le principe est le suivant : si l'on joint les deux pôles d'une pile P par deux conducteurs interpolaires comme l'indique la *fig. 109*, le

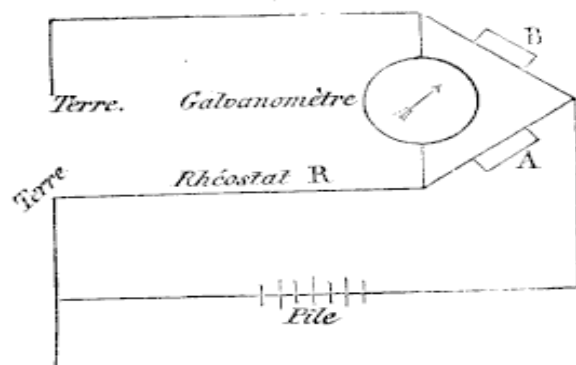


courant se distribuera entre les deux conducteurs. Si le rapport des résistances A et B est égal au rapport des résistances R et L , un fil métallique qui joindra les points G et g ne sera traversé par aucun courant, et un galvanomètre placé dans le circuit de ce fil restera au zéro. La réciproque est vraie : si, dans le système qui

vient d'être indiqué, l'aiguille reste au zéro, on peut en conclure que les rapports $\frac{B}{A}$ et $\frac{L}{R}$ sont égaux; il est facile dès lors de trouver l'une de ces résistances, si l'on connaît les trois autres : L sera, par exemple, la résistance d'un conducteur à mesurer, A et B seront deux résistances connues, que l'on se donnera dans les conditions les plus avantageuses pour l'expérience, R sera la résistance d'un rhéostat que l'on fera varier de façon à mettre le parallélogramme en équilibre.

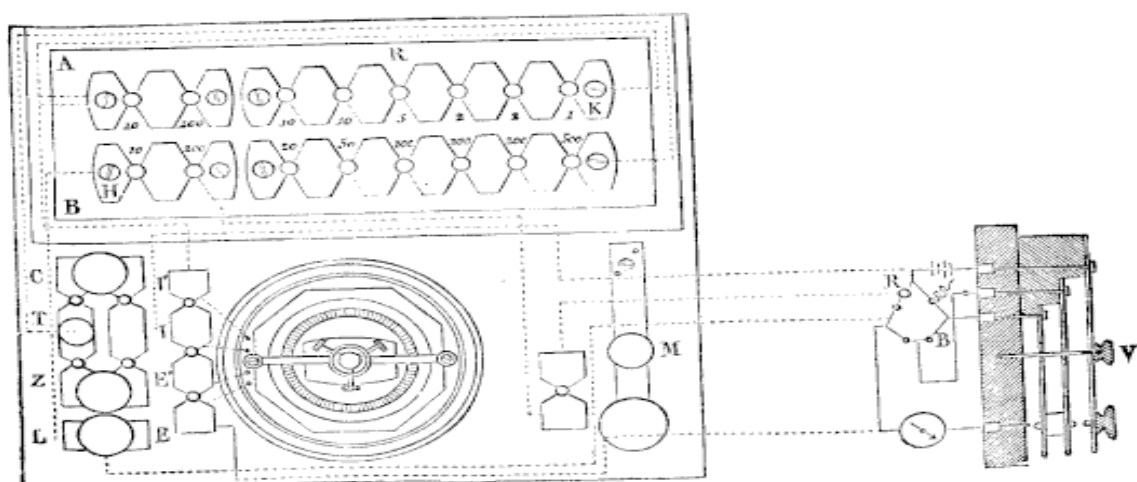
Si, comme il arrive d'ordinaire, on n'a à sa disposition que l'une des deux extrémités du conducteur, le parallélogramme prend alors la forme indiquée par la *fig. 110*.

Fig. 110.



Cette méthode est appliquée avec l'appareil représenté *fig. 111*.

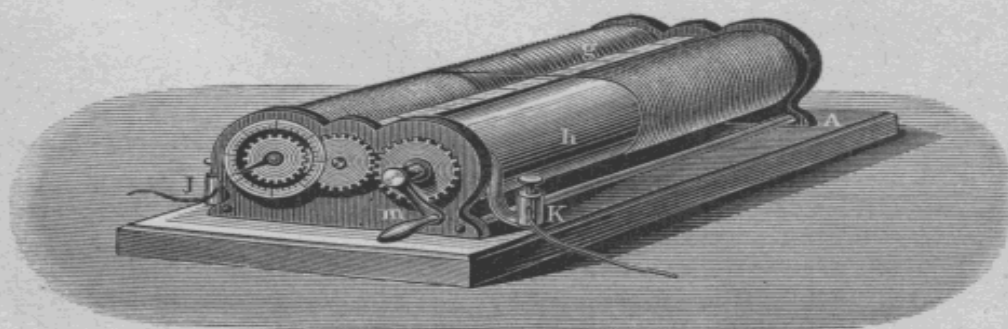
Fig. 111



Il se compose essentiellement d'une caisse de résistances réparties en trois séries correspondant aux résistances A, B et R, d'un galvanomètre à aiguille astatique suspendu par un fil de cocon, et de commutateurs pour l'établissement des communications. Des bouchons coniques, enfoncés entre les bobines étalonnées, permettent de faire varier la résistance R de 10 à 1.000 unités. Chacun des systèmes A et B est formé de deux bobines ayant respectivement 10 et 200 unités. On peut aussi établir entre leurs résistances un rapport égal à $\frac{1}{20}$, 1 ou 200. L'appareil permet donc de mesurer des résistances allant jusqu'à 20.000 unités. La méthode du pont de Wheatstone a cet avantage que l'essai se fait par une seule observation et qu'il est tout à fait indépendant de la constance de la pile, mais elle ne permet pas de mesurer des résistances considérables. L'appareil ci-dessus peut cependant être employé dans des limites assez étendues, si l'on renonce au pont de Wheatstone, et si l'on se sert de la méthode dite *de substitution* que nous avons indiquée précédemment; il faut alors faire deux expériences consécutives pour comparer la résistance à mesurer à la résistance connue d'un rhéostat. On établit d'ailleurs une dérivation du fil du galvanomètre, en se servant pour cet usage d'une des bobines de la petite série A. Le commutateur H'EE' sert à faire varier le nombre des tours du galvanomètre, qui doit être différent suivant que l'on opère par le pont de Wheatstone ou par substitution. Le manipulateur M établit les communications avec la pile; une vis V permet de les rendre permanentes pendant la durée de l'observation.

Nous indiquons dans la *fig. 112* un rhéostat composé de deux cy-

Fig. 112.



lindres qu'on peut faire tourner ensemble au moyen de la mani-

velle m ; on enroule ou l'on déroule ainsi un fil métallique continu qui peut passer à volonté de l'un des cylindres sur l'autre. Un des cylindres est métallique, l'autre est formé d'une substance isolante ; lorsque le fil est entouré sur le cylindre métallique, l'appareil présente une résistance nulle ; on a au contraire la résistance entière du fil lorsque l'enroulement a lieu sur le cylindre isolant, et par suite tous les intermédiaires.

PERTURBATIONS SUR LES LIGNES.

Sur les longs conducteurs, la transmission est soumise à des influences perturbatrices variées assez intenses souvent pour opposer un obstacle à l'échange des signaux. Nous étudierons successivement avec M. Gavarret (*) ces diverses difficultés :

Déperdition d'électricité.

Les lignes aériennes sont exposées à une double cause de pertes. D'abord, quelque soin qu'on apporte à leur installation et à quelque surveillance qu'on les soumette, les fils ne sont jamais complètement isolés sur leurs points de suspension ; une fraction variable du courant s'écoule dans le sol à travers les poteaux. En second lieu, une portion de l'électricité fournie par la pile se diffuse en pure perte dans les couches d'air en contact avec les conducteurs. Un fil métallique de 4 millimètres de diamètre et de 800 kilomètres de longueur, étendu de Paris à Marseille, représente une surface de 10.053 mètres carrés. Quelque faible que soit la tension latérale du courant, la déperdition d'électricité éprouvée par une surface métallique d'une pareille étendue exposée au libre contact de l'atmosphère, ne peut pas être négligeable même par les temps secs. Dans les temps humides, et surtout pendant et à la suite des fortes pluies, l'air devient plus conducteur, des couches d'eau restent adhérentes aux poteaux et aux supports de porcelaine, et les pertes éprouvées par les fils télégraphiques doivent nécessairement

(*) *Traité de Télégraphie*, par M. Gavarret. — Paris, 1861, Masson, éditeur.

devenir plus considérables. Sur une longue ligne, l'intensité du courant doit donc aller s'affaiblissant à mesure qu'on s'éloigne du point de départ, et cet affaiblissement est plus considérable par les temps humides que par les temps secs.

Les recherches entreprises, en 1845, par M. Bréguet sur la ligne de Paris à Rouen ne laissent aucun doute sur la réalité de cette déperdition d'électricité et en montrent toute l'importance. La communication était établie entre ces deux stations extrêmes par un fil de fer de 4 millimètres de diamètre et de 137 kilomètres de longueur; le circuit était complété par la terre. Le courant partait tantôt de Paris, tantôt de Rouen; dans l'un et l'autre cas, il était mesuré au point de départ et au point d'arrivée au moyen de deux boussoles de sinus bien comparées.

Pour le courant parti de Paris, le rapport moyen des intensités au point de départ et au point d'arrivée était :

1 ^{re} Pendant les jours de beau temps.	3,487
2 ^{re} Pendant les jours de pluie.	4,119

Pour le courant parti de Rouen, le rapport moyen des intensités au point de départ et au point d'arrivée était :

1 ^{re} Pendant les jours de beau temps.	4,848
2 ^{re} Pendant les jours de pluie.	5,093

A l'appui de ces résultats, les expériences de M. Bréguet montrèrent que le courant d'une pile placée à Paris n'était pas *interrompu*, mais était seulement *affaibli*, quand le fil était séparé de la terre à Rouen et *isolé*. La pile restant la même, les intensités du courant dans le fil en *communication avec le sol* et dans le fil *isolé* à l'autre extrémité de la ligne, étaient dans le rapport de 2 à 1.

M. l'abbé Moigno cite des recherches de M. Matteucci sur les télégraphes électriques de la Toscane qui établissent nettement que les pertes d'électricité augmentent avec la longueur de la ligne.

Par un temps *sec*, le rapport des intensités du courant au point de départ et au point d'arrivée était :

1 ^{re} De Pise à Livourne, distance de 17 kilomètres.	1,02
2 ^{re} De Pise à Florence, distance de 76 kilomètres.	1,15
3 ^{re} De Pise à Sienné, distance de 107 kilomètres.	1,50

Dans ce même travail, M. Matteucci a prouvé aussi que les pertes d'électricité augmentent avec l'humidité de l'atmosphère.

Pour une même distance de 76 kilomètres, de Pise à Florence, le rapport des intensités du courant au point de départ et au point d'arrivée était :

1° Par un temps sec.	1,15
2° Par un temps très-humide.	1,74
3° Par une pluie forte et prolongée.	2,45

A l'état normal, ces pertes d'électricité influent sur la distance à laquelle on peut correspondre avec une pile d'intensité donnée, mais n'entravent jamais sérieusement la transmission. Il est d'ailleurs impossible d'annuler complètement ces causes d'affaiblissement du courant; mais en améliorant les appareils de suspension des fils, on peut diminuer considérablement les pertes occasionnées par les poteaux.

Dans les premières années de l'établissement des lignes télégraphiques en France, la transmission directe des dépêches par les temps humides ne pouvait être exécutée au delà de 100 à 150 kilomètres. Aujourd'hui les conditions d'installation d'une bonne ligne ont été bien étudiées, les appareils de suspension des fils ont été perfectionnés et la correspondance directe peut, même par une atmosphère humide, être établie entre des stations beaucoup plus éloignées. Cependant il arrive encore que, pendant des brouillards très-prolongés et surtout à la suite des grandes pluies, les poteaux de la ligne, les murs des édifices et les parois des tunnels employés comme points d'appui, acquièrent un certain degré de conductibilité et établissent des communications fâcheuses entre la terre et les fils télégraphiques à travers les minces nappes d'eau déposées à la surface des cloches de suspension.

L'établissement d'une dérivation diminue donc toujours l'intensité du courant qui arrive au poste correspondant; mais l'effet de cette dérivation dépend beaucoup de la position du point de la ligne sur lequel elle est établie, et surtout de la résistance du circuit de dérivation. Il est facile de voir, d'ailleurs, que pour une position donnée du point de dérivation, l'effet d'affaiblissement du courant dépend du sens dans lequel s'opère la transmission : ainsi, une dérivation qui gêne à peine la correspondance du poste A au poste B, peut la rendre très-difficile en sens inverse.

Des dérivations, dont les effets sont les mêmes que ceux dont nous venons de nous occuper, peuvent être établies par diverses causes. Ainsi, un fil décroché, sans être rompu, peut toucher un mur humide ou traîner sur le sol; sur une ligne souterraine, un fil recouvert de gutta-percha peut se dénuder en un point, et se mettre en communication avec le sol; dans un câble sous-marin, une fissure peut faire communiquer un des conducteurs intérieurs avec l'armature externe; des stalactites se forment parfois dans les tunnels autour des supports isolants, et facilitent la communication des fils avec le sol.

Entre deux postes correspondants, il s'établit quelquefois plusieurs points de dérivation. Si les résistances de ces dérivations ne sont pas très-considérables, la correspondance devient très-difficile et même tout à fait impossible; dans ce cas, il est absolument nécessaire de réparer la ligne.

Accidents divers.

En dehors des pertes, il se produit quelquefois sur la ligne des dérangements accidentels qui, suivant leur nature et leur gravité, peuvent interrompre complètement la communication entre deux postes, ou simplement gêner la transmission.

Quand un fil télégraphique est rompu en un point quelconque de son parcours, les deux bouts traînent à terre. Les piles des postes auxquels aboutit ce fil rompu continuent à fonctionner, et l'intensité des courants varie avec la nature du sol sur lequel reposent les bouts flottants. Quand la communication avec la terre est parfaite, l'intensité des courants est plus grande qu'avant la rupture; elle est au contraire plus faible quand la communication est mal établie. Tant que le dégât n'est pas réparé, toute correspondance est évidemment impossible entre les postes séparés par le point de rupture.

A la suite d'un coup de vent, deux fils voisins peuvent se mêler; un point de contact permanent s'établit alors entre les deux conducteurs. Un courant lancé sur un de ces deux fils se partage nécessairement au point de contact en trois portions: l'une continue sa route comme à l'ordinaire, les deux autres parcourent le second fil en sens inverses. Dans ce cas, une portion du courant est ramenée par le second fil au poste d'où il est parti, et a une intensité suffisante

pour faire marcher les appareils. Cette circonstance révèle à la fois l'existence et la nature de l'accident survenu sur la ligne.

Des corps légers flottants dans l'atmosphère et déposés sur les conducteurs de la ligne, des poteaux trop humides, etc., peuvent établir des communications entre deux fils voisins; dans les câbles souterrains ou sous-marins à plusieurs fils, des fissures peuvent aussi établir des communications du même genre. Dans tous ces cas, on dit encore que les fils sont mêlés, et l'électricité passe évidemment d'un fil à l'autre. Ces sortes de dérivations gênent toujours la correspondance, et peuvent la rendre très-difficile; il est rare, cependant, qu'elles affaiblissent assez le courant pour arrêter la communication. Ces mélanges des fils voisins doivent être prévenus avec beaucoup de soin, et détruits toutes les fois qu'ils se produisent.

Dans l'intérieur des postes télégraphiques, il se produit aussi quelquefois des dérangements capables de gêner ou d'arrêter la correspondance. Un contact mal établi entre deux couples de la pile ou entre une borne et un conducteur, une rupture du fil de la bobine de l'électro-aimant ou de l'un des nombreux fils qui aboutissent au poste, suffisent pour rendre la transmission impossible; une communication anormale, établie entre deux conducteurs voisins ou entre le conducteur et le sol, crée une dérivation qui, si elle n'interrompt pas la correspondance, la rend du moins plus difficile en entraînant une perte d'électricité et un affaiblissement du courant transmis.

En télégraphie électrique, la recherche méthodique du point précis de la ligne où il s'est produit accidentellement une dérivation ou tout autre dérangement, constitue une opération d'une grande importance.

Une application judicieuse des lois des courants électriques peut rendre de très-grands services dans une recherche de ce genre. La résistance normale de la ligne et la force de la pile étant connues à l'avance, une série d'observations de l'intensité du courant émis dans un seul sens ou successivement dans les deux sens, permet de mesurer la résistance de la portion de la ligne comprise entre le lieu du dérangement et chacun des postes où la pile fonctionne. Et, comme les lignes télégraphiques sont composées, dans toute leur étendue, de fils de nature et de diamètre connus, on déduit facilement la longueur d'une portion quelconque du circuit de la connaissance de la résistance. Les indications fournies par ces calculs ne sont jamais

d'une rigueur absolue; mais, quoique simplement approximatives, elles facilitent et abrègent beaucoup les recherches nécessaires à la détermination du siège précis du dérangement.

Courants de retour.

Considérons deux postes correspondants X, X', et supposons le fil télégraphique isolé à une extrémité de la ligne, en X' par exemple. Mettons, en X, le manipulateur en position d'émission; nous savons que, dans ce cas, le pôle positif de la pile du poste X communique avec la ligne par l'intermédiaire du manipulateur. Un flux d'électricité s'élance sur le fil télégraphique. Si la ligne était parfaitement isolée, tout se bornerait à communiquer au fil une charge statique qui le mettrait en équilibre de tension avec le pôle positif de la pile; mais nous savons qu'en raison des pertes éprouvées par les supports et par l'air, la ligne est, en réalité, traversée par un faible courant; le fil n'en conserve pas moins une charge positive tant que la position d'émission est maintenue.

Les choses étant en cet état, ramenons le manipulateur du poste X à la position de *réception*, c'est-à-dire séparons le fil de la pile, et mettons-le en communication avec le récepteur du poste X par l'intermédiaire du manipulateur. Dans cette nouvelle disposition, la ligne, toujours isolée en X', communique librement avec la terre en X, à travers les organes du récepteur; la charge du fil télégraphique, n'étant plus sollicitée par aucune force électro-motrice, s'écoule nécessairement dans le sol à travers le poste X, dont le récepteur est traversé par un courant de décharge. Si la ligne a peu d'étendue, la quantité d'électricité accumulée sur le fil est faible, et ce courant de décharge n'a ni assez d'intensité ni assez de durée pour faire marcher le récepteur, à moins qu'on n'ait eu le soin de le rendre très-sensible par la détente du ressort antagoniste et par le rapprochement de l'armature de l'électro-aimant. Mais l'intensité et la durée du courant de décharge augmentent avec l'étendue de la ligne; il en résulte que, sur une ligne d'une certaine longueur, le flux qui traverse le poste au moment où le manipulateur passe de la position d'émission à la position de réception, est capable de faire marcher un manipulateur ordinaire.

Sur les lignes très-longues, ces flux de décharge, appelés *courants*

de retour, peuvent se manifester dans les conditions normales de la transmission, bien que le fil télégraphique ne soit pas isolé au poste correspondant X', et communique librement avec la terre. Au moment où le manipulateur du poste X est ramené de la position d'émission à la position de réception, la charge du fil de ligne s'écoule dans le sol à travers le récepteur du poste X', et si le passage d'une position à l'autre ne s'exécute pas trop vite, le fil est déjà retombé à l'état neutre au moment où le manipulateur du poste X atteint le bouton de réception. Mais, si le changement de position s'opère très-vite, la ligne est encore fortement électrisée au moment où le manipulateur atteint le bouton de réception; sa charge s'écoule par les deux extrémités du fil en communication avec le sol, et le poste de départ est traversé par un courant de retour assez intense pour mettre son récepteur en mouvement. On comprend facilement pourquoi ces courants de retour ne se montrent jamais sur les lignes aériennes de faible étendue.

Dans les lignes souterraines et sous-marines, le fil télégraphique représente en réalité l'armature intérieure d'un condensateur; la charge qu'il reçoit pendant la transmission est beaucoup plus forte en quantité que celle d'un fil aérien de même longueur, et la décharge s'opère beaucoup plus lentement. Pour cette double raison, on comprend que les courants de retour soient beaucoup plus intenses et beaucoup plus faciles à produire sur les lignes souterraines et sous-marines que sur les lignes aériennes.

Quand les courants de retour acquièrent une grande intensité, ils peuvent être confondus avec des courants envoyés par le poste correspondant. Sous ce rapport, ils sont assez gênants, parce qu'ils induisent les employés en erreur, mais, en réalité, ils n'empêchent jamais la transmission. On n'en a pas moins essayé de les détourner du récepteur du poste qui expédie. On a ajouté au manipulateur Morse un quatrième bouton en communication avec la terre, que le levier doit *toucher un instant* quand il passe de la position d'émission à la position de réception; ce contact momentané facilite la décharge du fil de ligne. Quelquefois, entre le manipulateur et la ligne, on a placé un fil de dérivation de *trois à quatre cents* kilomètres de résistance, communiquant à la terre et destiné à opérer la décharge de la ligne, pendant que le manipulateur passe de la position d'émission à la position de réception. Du reste, cette dérivation, par cela même qu'elle est très-rapprochée de la pile et qu'elle

oppose une grande résistance, n'affaiblit pas beaucoup le courant de la ligne et lui laisse une intensité suffisante.

Mais la décharge d'un fil télégraphique n'est jamais instantanée : l'électricité, dont la tension va s'affaiblissant, s'écoule lentement et ne passe pas entièrement par les voies latérales qui lui sont offertes. Aussi les dispositions précédentes sont généralement insuffisantes même sur les longues lignes aériennes, pour annuler l'action des courants de retour sur le récepteur du poste qui expédie. Le seul moyen de se mettre complètement à l'abri de leurs effets est de proportionner la rapidité de la transmission à l'étendue et à la nature de la ligne télégraphique.

Induction dans les bobines des électro-aimants.

Nous avons supposé que, quand le manipulateur du poste de départ X passe de la position d'émission à la position de réception, aucune force électro-motrice n'agit plus sur le fil de ligne : les choses ne se passent pas réellement ainsi. Au moment où l'émission est interrompue au poste X, le courant qui traverse les bobines de l'électro-aimant du récepteur du poste d'arrivée X' s'affaiblit très-rapidement ; il se développe donc dans ces bobines un extra-courant *direct* dont la force électro-motrice agit dans le même sens que celle de la pile, prolonge ses effets après la rupture du circuit et pousse l'électricité de X en X'. Il en résulte qu'au moment où le manipulateur du poste X atteint le bouton de réception, le mouvement électrique qui s'établit sur la ligne, est un phénomène complexe dépendant de la tendance de la charge positive du fil à s'écouler dans le sol à travers le récepteur du poste X, et de l'action de l'extra-courant direct qui pousse en sens inverse. Sur les lignes aériennes très-longues, et surtout sur les lignes sous-marines, en raison de la grande résistance du circuit extérieur aux bobines et de la lenteur avec laquelle varie l'intensité du flux de décharge dans ces bobines, l'extra-courant est faible, et le récepteur du poste de départ X est traversé par un véritable courant de retour. Mais, sur les lignes aériennes très-courtes, l'extra-courant direct prend assez d'intensité pour s'opposer au changement de sens du mouvement électrique ; quand le changement de position du manipulateur s'exécute avec beaucoup de rapidité, le récepteur du poste X est traversé par un courant instantané dirigé de X en X', comme le courant pri-

mitif de la pile. Dans ce cas, ce n'est plus par un courant de retour dû à la décharge de la ligne, mais par un véritable courant induit direct que le récepteur du poste de départ X est mis en mouvement.

Induction réciproque des fils d'une même ligne.

Les fils d'une même ligne agissent par induction les uns sur les autres ; il en résulte qu'au moment de l'émission et de l'interruption du courant, les fils voisins sont traversés par des courants induits alternatifs, qui, dans certaines circonstances favorables, peuvent acquérir assez d'intensité pour agir sur les récepteurs et faire croire à un mélange des fils de la ligne.

Nous citerons ici quelques résultats constatés par M. Lagarde et indiqués par lui dans les *Annales télégraphiques* de 1875.

Lorsqu'il existe une dérivation entre deux fils et qu'on envoie un courant sur l'un d'eux, si sur l'autre il y a un récepteur à électro-aimant polarisé, tel qu'un appareil Hughes, ce récepteur marche si le courant dérivé est assez fort et s'il est de sens convenable dans les bobines de l'électro-aimant. Le même effet se produit quand les deux fils partant d'un même poste sont parfaitement isolés sur la ligne, mais alors que la terre commune dans ce poste est défectueuse (trop résistante) : une partie seulement du courant s'écoule dans le sol et l'autre se rend sur le second fil, absolument comme s'il y avait mélange au point où les deux conducteurs se joignent à la terre commune. Mais quand les deux fils sont parallèles et voisins sur une grande longueur, et qu'il y a induction de l'un sur l'autre, toutes les fois qu'on travaille par l'un d'eux, chaque émission de courant donne lieu à deux courants induits : l'un d'induction commençante, l'autre d'induction finissante, le premier étant de sens contraire au courant inducteur et le second de même sens. Si ces courants sont assez forts, l'un des deux fera nécessairement fonctionner l'appareil à électro-aimant polarisé monté sur le fil induit, quelle que soit l'orientation des bobines. En reliant le fil de ligne successivement à chacune des extrémités du fil de l'électro-aimant, l'appareil marchera toujours tant qu'on transmettra par le fil voisin ; au contraire, il n'y a qu'une extrémité du fil des bobines qu'on puisse relier à la ligne pour que l'appareil fonctionne sous l'action d'une dérivation entre les deux fils. On a ainsi, avec un appareil de cette sorte placé sur l'un des conducteurs, un moyen

certain de reconnaître si, lorsque les transmissions qu'on échange par l'un d'eux influent sur l'autre, cette influence est due à des courants d'induction ou à des courants de dérivation. L'expérience consistant à isoler les deux fils à l'extrémité opposée à celle où l'on se trouve, puis à renvoyer un courant sur l'un d'eux et à observer un galvanomètre placé sur l'autre est insuffisante, parce qu'elle ne donne aucune indication relative aux dérivations provenant d'une terre commune mauvaise.

Mauvaise communication avec la terre.

Quand plusieurs fils de ligne aboutissent à un même poste, un seul conducteur sert ordinairement à mettre le pôle négatif de la pile de ligne et tous les récepteurs du poste, en communication avec la terre. Dans ces conditions, une mauvaise communication avec le sol peut produire des perturbations très-gênantes pour la correspondance.

Si le poste reçoit, et si tous les manipulateurs sont en position de réception, le courant qui arrive traverse comme à l'ordinaire le récepteur correspondant au fil en communication avec le manipulateur qui expédie; mais, au lieu de se perdre tout entier dans le sol, il rétrograde, du moins en partie, à travers tous les autres récepteurs et les autres fils de ligne qui aboutissent à ce poste. Il en résulte que tous les récepteurs de ladite station marchent à la fois, et que même, si la communication avec la terre est très-mauvaise, les courants rétrogrades conservent assez d'intensité pour mettre en mouvement les récepteurs du poste qui expédie.

Dans le cas où le bureau dans lequel existe une mauvaise communication avec la terre expédie lui-même, le flux d'électricité négative de la pile, rencontrant une trop grande résistance du côté du sol, traverse les récepteurs, se propage le long des divers fils de ligne et gagne les récepteurs du poste correspondant. Avec une communication très-mauvaise, il peut arriver que tous les récepteurs des deux stations correspondantes marchent en même temps.

Ces quelques indications suffisent pour faire comprendre la nature et l'importance des perturbations qui peuvent survenir sur les lignes télégraphiques, par suite d'une mauvaise communication des appareils avec le sol. On ne saurait veiller avec trop de soin à l'établissement et à l'entretien des fils de terre.

RECHERCHE DES DÉRANGEMENTS.

Les méthodes qui vont être exposées sont extraites du *Traité de Télégraphie* de Schellen (*).

Si le dérangement est dans un poste, soit aux appareils, soit aux fils de communication, soit aux points de contact, soit aux piles, une recherche scrupuleuse suffit pour le trouver. Mais il devient plus difficile d'en déterminer le lieu quand il se trouve dans la communication même de la ligne; la difficulté augmente en raison de la multiplicité des fils parallèles d'une ligne télégraphique. Pour déterminer théoriquement le point où la communication est défectueuse, on emploie des instruments de mesurage délicats, des rhéostats bien réglés, des galvanomètres et des bobines de résistance.

Nous omettons les dérivations qui se produisent, surtout quand le temps est humide, aux poteaux télégraphiques, et nous considérerons successivement la recherche des points défectueux dans les lignes *aériennes*, dans les lignes *souterraines* et dans les lignes *sous-marines*.

Lignes aériennes.*Défaut sur un fil unique.*

Si sur un point quelconque d'une communication aérienne, il existe une dérivation importante du courant, soit par le bris d'un isolateur, soit par le contact d'un conducteur avec une branche d'arbre, ou par celui d'une communication qu'un cordage humide établit avec la terre, etc., on découvre cette sorte de dérangement en constatant que la majeure partie du courant passe à la terre par le point de dérivation, et que la portion du courant qui arrive à la station destinataire est trop faible pour faire marcher les appareils qui s'y trouvent.

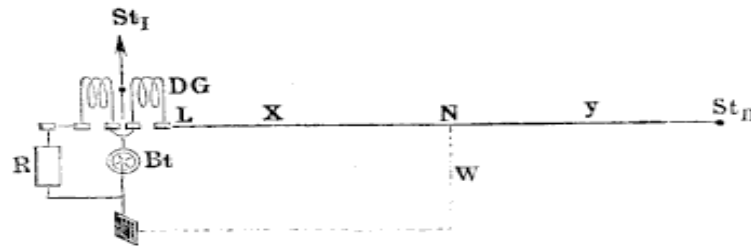
On reconnaît encore le dérangement à la station de départ dans le fait qu'un galvanomètre sensible accuse une plus grande déviation

(*) *Der Electromagnetische Telegraph*, von Dr H. Schellen. Brunswick, 1871.

qu'à l'ordinaire, par suite de la dérivation, la résistance totale de la ligne étant moindre que dans celui d'un bon isolement.

Le lieu du dérangement se détermine alors de la manière suivante : à la station II, *fig. 113*, on isole le fil de ligne, et on relie à la station I l'un des pôles de la pile avec un des bouts du circuit d'un galvanomètre différentiel DG; l'autre bout de ce circuit est relié, d'une part, avec la ligne L, et, d'autre part, avec un rhéostat R et la terre.

Fig. 113.



Soit maintenant N le point de dérivation, appelons W la résistance de cette dérivation, et x, y , les résistances des distances du lieu du dérangement N aux extrémités de ligne.

Le rhéostat ayant été réglé de telle sorte que l'aiguille du galvanomètre soit au zéro, on a évidemment, en désignant par R la résistance du fil relié au rhéostat :

$$x + W = R.$$

Maintenant, si en N la communication avec la terre est parfaite, $W = 0$, et l'on a

$$x = R,$$

expression qui donne directement la longueur de la distance x . Si, au contraire, la dérivation en N représente une certaine résistance, on fait la mesure à l'autre station, ce qui donne

$$y + W = R_1;$$

d'où

$$x + y + 2W = R + R_1.$$

Si nous désignons par L la résistance connue $x + y$ de la ligne entière, on a

$$L + 2W = R + R_1,$$

d'où l'on tire

$$W = \frac{R + R_1 - L}{2},$$

et, par la substitution de cette valeur de W dans la première équation ci-dessus, on obtient

$$x = R - \frac{R + R_1 - L}{2} = \frac{1}{2} (R - R_1 + L).$$

On trouve de même

$$y = \frac{1}{2} (R_1 - R - L).$$

Dans l'application, la somme $(x + y)$ sera plus petite que L , parce que, outre les points défectueux, il y aura sur le parcours de la ligne d'autres points de dérivation. De là il résulte que, par les mesures et calculs précédents, on trouvera des valeurs de x et y trop faibles; le lieu N du dérangement sera donc entre les points déterminés par les valeurs indiquées par la formule pour x et y .

Si le fil de ligne est coupé, l'extrémité aboutissant au poste où se font les recherches est isolée dans l'air, le galvanomètre ordinaire du poste n'accusera alors aucune déviation, lorsque la pile communiquera avec la ligne et la terre. Mais, lorsque la même expérience est faite avec un multiplicateur très-sensible, on obtient, si la ligne n'est pas trop courte et d'ailleurs bien isolée, une déviation instantanée, qui provient de ce que l'électricité du pôle de la pile relié à la ligne passe dans cette dernière et la charge. Plus la ligne est longue plus la charge est grande. Si, après que l'aiguille est revenue à zéro, on retire du multiplicateur le pôle de la pile, il se produit une seconde déviation de l'aiguille en sens opposé, parce que l'électricité qui se trouvait dans la ligne s'écoule et donne lieu à un *courant de retour* ou de *décharge*. Plus la longueur du fil est grande, plus est accentuée la déviation de l'aiguille du multiplicateur. Le calcul indique que cette décharge agit sur l'aiguille suivant les mêmes lois que la pesanteur sur un pendule, c'est-à-dire que la force d'impulsion est proportionnelle au sinus de la moitié de l'angle de déviation. La détermination de cet angle fournit donc un moyen de constater si le lieu de dérangement est rapproché ou éloigné de la station qui fait les recherches. Or, si pour de semblables interruptions on a repéré les distances, et si par expérience on sait, pour

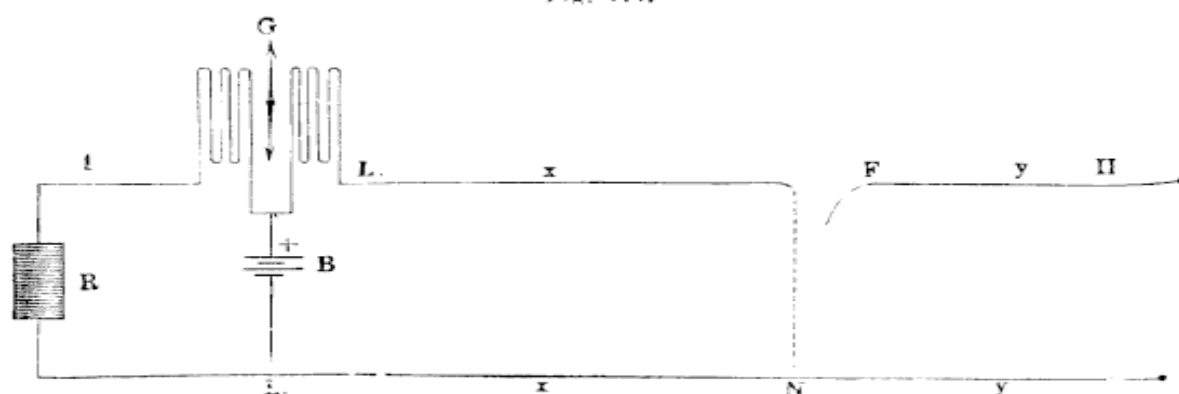
une force donnée de la pile sur le multiplicateur, la grandeur de la déviation produite par un courant de retour sur une ligne isolée et préalablement chargée, les nombres indiqués fournissent un moyen facile de déterminer la distance du point d'interruption à la station télégraphique.

Dérangement sur plusieurs fils.

S'il arrive que sur une ligne composée de plusieurs fils, l'un d'eux soit coupé, et que l'extrémité correspondant au poste qui transmet ne soit plus comme précédemment isolée dans l'air, mais en contact avec d'autres fils, le courant émis se ramifie au point de rupture sur les fils en contact, et par ceux-ci va simultanément à la station de départ et à la station d'arrivée. Dans la première il fait marcher l'appareil de la seconde ligne si, dans les deux sens, on a isolé le fil sur lequel s'est produit le mélange. On procède à la détermination du lieu de dérangement de la manière suivante :

A la station II (*fig. 114*), les deux conducteurs L et L₁ sont isolés.

Fig. 114.



A la station I, le galvanomètre différentiel G est établi entre le conducteur L et le rhéostat R, la pile B est installée entre le galvanomètre et le conducteur L₁, ainsi que l'indique la figure. Si le rhéostat est réglé de telle sorte que l'aiguille du galvanomètre soit au zéro, on a, en conservant la notation du paragraphe précédent,

$$x + x = 2x = R,$$

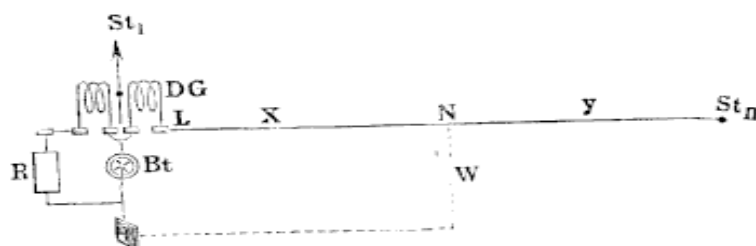
d'où

$$x = \frac{R}{2},$$

expression qui donne x , ou la distance du lieu du dérangement N à la station I.

Si le fil conducteur L n'est point coupé, mais en contact avec le conducteur L_1 , soit parce qu'il est libre, soit parce qu'un objet étranger établit une communication (celle d'une petite corde, par exemple), ainsi qu'on le voit sur la *fig. 115*, on procède comme dans le pre-

Fig. 115.



mier cas. On pratique à la station II la même opération de mesure qu'à la station I, et, en conservant la notation précédente, on obtient

$$\text{pour la station I} \quad R = 2x + W,$$

$$\text{pour la station II} \quad R_1 = 2y + W,$$

$$\text{donc} \quad R + R_1 = 2(x + y) + 2W,$$

ou bien, puisque $x + y = L$,

$$W = \frac{R + R_1 - 2L}{2},$$

et, par substitution de la valeur de W dans les premières équations,

$$x = \frac{R - R_1 + 2L}{4},$$

$$y = \frac{R_1 - R + 2L}{4},$$

ce qui donne immédiatement les valeurs de x et y .

Mais il peut surgir des cas dans lesquels le fil coupé arrive à la terre, ou bien dans lesquels les bouts touchent en même temps la terre et d'autres conducteurs. Dans la plupart des circonstances de ce genre, le lieu du dérangement peut se déterminer par une combinaison des méthodes de mesure indiquées ci-dessus. Il faut d'ailleurs toujours admettre qu'il soit possible, au moyen de l'une

des communications existantes, d'échanger des signaux avec la station correspondante, pour faire isoler la ligne ou combiner d'autres opérations.

Lignes souterraines.

Les conducteurs souterrains se trouvant enfouis à une profondeur de 1 mètre en moyenne, sont moins sujets à des dérangements que les lignes aériennes. Les points d'interruption d'un conducteur souterrain se trouvent par une expérience dans laquelle l'une des extrémités du conducteur est isolée, et l'autre extrémité reliée à une forte pile. On perce avec une aiguille d'acier le conducteur vers son milieu, de façon qu'après avoir traversé la gutta-percha, l'aiguille touche l'âme métallique, puis on pose cette aiguille sur la langue. Si l'on éprouve une sensation de brûlure, le dérangement existe au delà du point d'expérience et l'on renouvelle l'essai à quelques mètres plus loin. Lorsque la langue n'éprouve pas de sensation de brûlure, on est averti que le lieu du dérangement est dépassé, et, dans ce cas, il est facile de circonscrire le défaut. On découvre le fil dans les limites trouvées, afin de procéder à une recherche de point en point. La gutta-percha percée est ensuite soigneusement refondue avec une lampe à esprit-de-vin.

Si la communication souterraine est devenue défectueuse par suite de l'altération ou de la disparition de la gutta-percha, de sorte que le conducteur soit en contact immédiat avec la terre, et qu'il en résulte une dérivation observable, on trouve approximativement la position du défaut, lorsque ce dérangement est unique, au moyen du calcul suivant indiqué par M. Siemens.

Soit ab le fil souterrain (fig. 116) endommagé au point N, où il communique avec la terre. Il faut d'abord par l'expérience déterminer :

1° La résistance des piles B et B₁ et celle des galvanomètres G et G₁, qui doivent être comparables entre elles ;

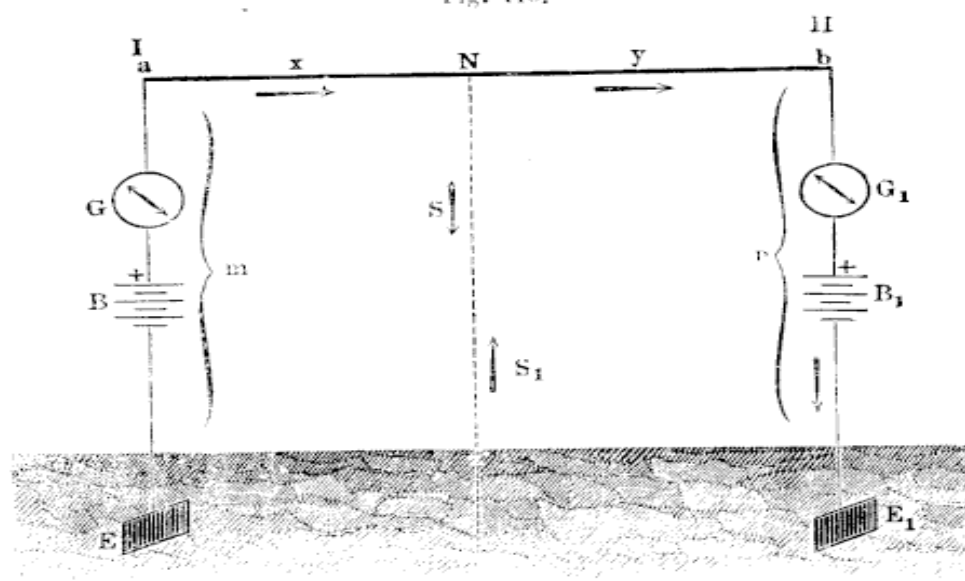
2° La résistance du fil conducteur entre la pile et la plaque de terre E ;

3° La résistance de la terre humide autour de la plaque de terre.

Toutes ces résistances s'exprimeront en unités de résistance du fil conducteur.

Soient donc x et y les résistances du fil conducteur depuis N res-

Fig. 116.



pectivement jusqu'à a et b ; soit m la somme des résistances du galvanomètre G , établi près de a , de la pile B , du fil de communication de la plaque de terre, et de la résistance de la terre en E ; soit n la somme analogue pour l'autre extrémité b ; appelons enfin z la résistance au lieu du dérangement. Désignons par S et S_1 les intensités du courant de la pile B , simultanément mesurées en a et b dans les galvanomètres G et G_1 , dans le cas où en b la pile B est mise hors circuit pour être remplacée dans celui-ci par un fil de résistance égale à la pile, n représentant toujours la somme de toutes les résistances de b à E_1 . Soient de même s et s_1 les intensités du courant mesurées en a et b , quand la pile B_1 est active et quand la pile B est mise hors circuit pour être remplacée dans celui-ci par un fil métallique de résistance égale à cette pile.

Dans chaque figure fermée de fils conducteurs, la somme des produits des intensités du courant sur chaque longueur, par la résistance de celle-ci, est égale à la somme de toutes les forces électro-motrices qui se trouvent dans cette longueur (*). Or, si la pile B est établie en circuit à l'exclusion de la pile B_1 , il n'existe dans la figure NbE_1zN aucune force électro-motrice en activité; le courant S , au contraire,

(*) Cette proposition, qui porte le nom de *loi de Kirchhoff*, est une déduction mathématique de la formule de *Ohm*.

a en Nz une direction opposée à celle de S_1 (ainsi que le font voir les flèches S et S_1); donc la figure NbE_1zN donne :

$$(S_1 \cdot y) + (S_1 \cdot n) + (S_1 \cdot z) - (S \cdot z) = 0,$$

d'où

$$S_1 = \frac{S \cdot z}{y + n + z},$$

ou bien

$$\frac{S}{S_1} = \frac{y + n + z}{z},$$

conséquemment aussi

$$\frac{S - S_1}{S} = \frac{y + n}{z}.$$

D'après le même raisonnement, nous avons, en établissant la pile B_1 , à l'exclusion de la pile B

$$\frac{s - s_1}{s} = \frac{x + m}{z};$$

Divisant donc les deux dernières équations, nous obtenons :

$$\frac{x + m}{y + n} = \frac{(s - s_1)S_1}{(S - S_1)s};$$

la somme des résistances $(x + y)$ étant égale à la résistance du conducteur entier, x et y peuvent être chacun déterminés, ce qui fait aussi découvrir le lieu du dérangement.

On ne peut évidemment employer le calcul qui précède que dans le cas où il y a un dérangement *unique*. Pour se convaincre de l'existence d'une seule dérivation, on recommence la mesure, après avoir établi en circuit une résistance connue à l'une des extrémités du conducteur, et l'on voit si le calcul indique le même point de dérangement que précédemment.

Si dans le conducteur il existe plusieurs points endommagés, le calcul devient trop compliqué et le résultat trop incertain pour conserver une valeur pratique. En pareil cas, le mieux est de chercher à approcher de plus en plus des points défectueux en poursuivant les sections du conducteur, afin de trouver ces points en ouvrant une tranchée sur une certaine longueur.

Lignes sous-marines.

S'il s'agit de déterminer approximativement le lieu du dérangement d'un câble d'une grande longueur dont l'âme est coupée, on peut, en admettant que les deux extrémités soient à portée, charger chaque portion de câble à son extrémité libre avec la même pile, pour ensuite observer sur un galvanomètre la force du courant de décharge. Soient l et l_1 les deux portions de câble, dont la somme $l + l_1$ est connue, soient α et α_1 les angles de déviation de la boussole dans la décharge, on a, d'après ce que nous savons,

$$l : l_1 = \sin \frac{\alpha}{2} : \sin \frac{\alpha_1}{2},$$

d'où il est facile de tirer les valeurs de l et l_1 .

Si, au contraire, il s'agit de l'essai en général du câble durant sa fabrication et sa pose, le procédé précédent, qui ne se rapporte qu'au cas de rupture, n'est plus suffisant.

Primitivement, durant la fabrication et la pose, les câbles étaient vérifiés au moyen de boussoles de sinus très-sensibles. Mais comme les résultats n'offraient pas de contrôle certain, M. *Siemens*, dans la pose de la ligne de Suez à Aden, eut recours, pour la première fois, à la méthode des mesures de résistance, dont les résultats rigoureux firent le succès; aujourd'hui cette méthode est la seule qui serve à contrôler l'état d'un câble aussi bien durant la fabrication que durant la pose.

Le *pont de Wheatstone* est utilisé de la manière suivante :

A la station de terre est un commutateur, qui établit successivement en circuit le *pont* et isole le récepteur, isole la ligne ou la relie à la terre. Pendant ces deux dernières opérations, la station du navire pratique la mesure; ensuite le navire fait les mêmes manœuvres pour que, de son côté, la station de terre puisse mesurer et enfin communiquer au navire les résultats obtenus. Le jeu des commutateurs à chaque poste est assuré par deux appareils d'horlogerie établis en synchronisme, le temps de chaque opération est arrêté d'avance. Toutes ces mesures doivent être faites avec une grande rapidité et beaucoup de précision; les résultats doivent être transmis de terre dans le temps le plus court possible, pour que le navire file peu de

câble dans cet intervalle pendant lequel un défaut pourrait se produire. Lorsque les quatre mesures ont donné des résultats présentant entre elles de notables différences, elles indiquent l'existence d'un défaut. Dans ce cas, le navire s'arrête immédiatement, et l'on procède à la détermination du point défectueux.

M. Siemens a donné, pour effectuer cette détermination, des méthodes très-sûres, que nous rapporterons brièvement :

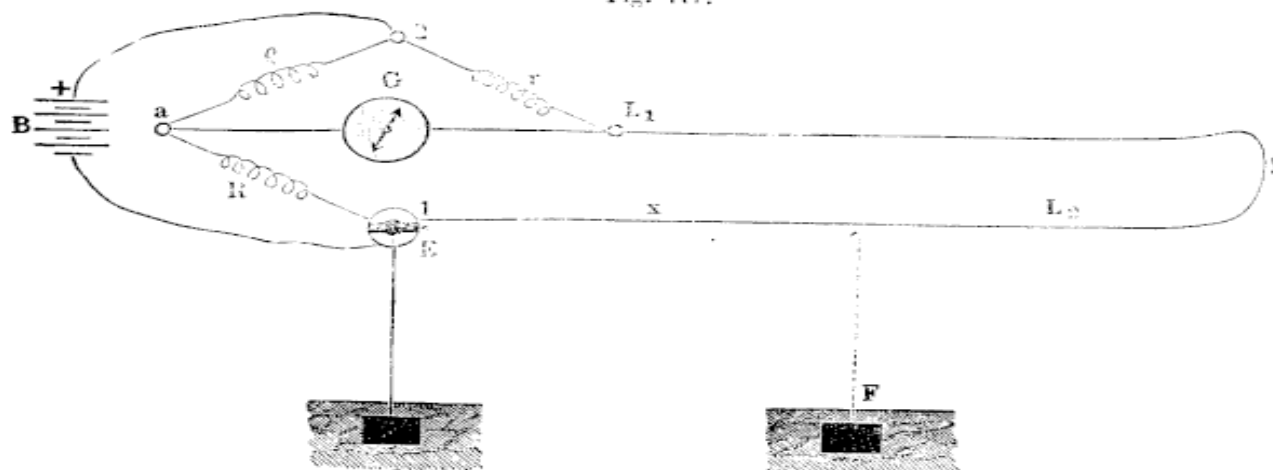
Lorsqu'un câble a été essayé au courant de sa fabrication sur des longueurs d'environ 1 nœud, et dans les diverses phases, soit pendant la formation des torons ou le revêtement, et enfin avant de le filer en mer, il faut que tous ces essais se soient rigoureusement contrôlés mutuellement. On peut donc compter que les résultats des premières expériences sont établis au moment de la pose du câble comme des données constantes.

Pour déterminer le lieu d'un dérangement il faut distinguer, selon que le câble renferme plusieurs conducteurs ou n'en contient qu'un seul. Dans le premier cas, chaque station peut avoir à sa disposition, par la réunion de deux fils, les extrémités des conducteurs endommagés, et chaque extrémité peut dans les deux stations être amenée au pont. Nous considérerons donc d'abord :

A. *La détermination du point de dérangement d'un câble, lorsque les deux extrémités des conducteurs peuvent être amenées au pont.*

Les deux câbles sont représentés en L_1 et L_2 (fig. 117), le dérangement consiste en une dérivation en F ; on connaît les résistances G du galvanomètre, R , ρ et r des fils du pont, B de la pile, E du commutateur. Les deux bouts de câble L et L_1 sont d'abord reliés au

Fig. 117.



pont, de telle façon que le défaut soit tout près de la fiche I; on divise alors la communication entre I et E, de façon à obtenir la disposition indiquée sur la figure, et l'on amène par réglage de R l'aiguille du galvanomètre à zéro.

D'après la résistance connue l de toute la communication établie entre L et L₁, et par les résistances constantes R, r et ρ , la situation du dérangement peut se calculer de la manière suivante :

Soit x la résistance de I jusqu'au point défectueux F, soit de même y la résistance de F à L₁, alors

$$x + y = l,$$

et, d'après la loi du *pont*,

$$r(x + y) = \rho;$$

d'où l'on tire

$$x = \frac{l - \frac{r}{\rho} R}{1 + \frac{r}{\rho}}$$

et

$$y = \frac{(l + R) \frac{r}{\rho}}{1 + \frac{r}{\rho}}.$$

Si l'on veut avoir la valeur de x et y , non pas en unités de résistance, mais en nœuds ou milles marins, après avoir préalablement déterminé combien il y a d'unités pour un nœud, pour un mille, il suffit de diviser les valeurs précédentes par ce nombre.

La méthode ci-dessus décrite offre l'avantage d'être indépendante de la polarisation au point du dérangement, et de la grandeur variable de la résistance du défaut. Elle fournit par conséquent des résultats très-rigoureux et très-sûrs; dans la pose du câble indien, elle a parfaitement réussi. Sur le trajet de la section *Aden-Kurra-chee*, les ingénieurs se trouvèrent ainsi en mesure de relever cinq dérangements sans retarder l'opération.

B. Détermination du dérangement d'un câble lorsqu'une seule extrémité du conducteur peut être amenée au pont.

A et B (*fig. 118 et 119*) sont les extrémités du câble; on peut déterminer à l'une des extrémités la résistance, pourvu qu'à l'autre la

Fig. 118.

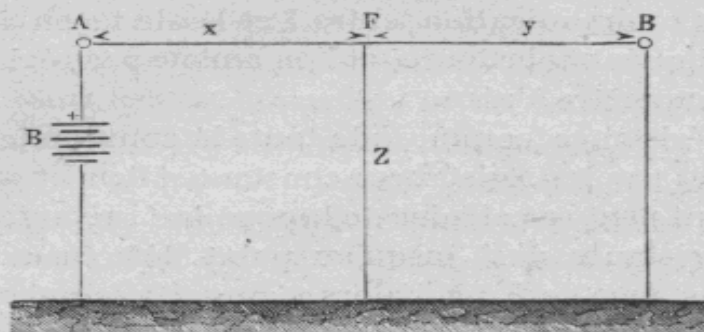
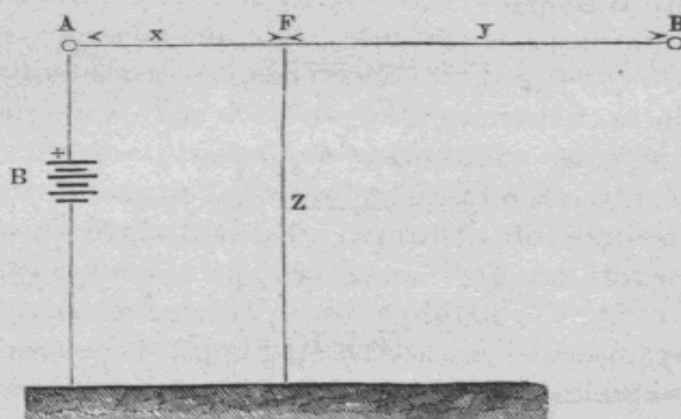


Fig. 119.



communication soit établie avec la terre, ou que l'isolement soit complet. Dans le premier cas, on détermine la résistance du conducteur cuivre; dans le second, on détermine celle du revêtement, c'est-à-dire de la gutta-percha, du caoutchouc, etc. Soient donc chaque fois a , a_1 , au point de mesurage A; b , b_1 , au point de mesurage B, les résultats des mesures de résistance, a et b se rapportant aux résistances du conducteur, a_1 et b_1 , aux résistances du revêtement.

Pour la détermination du dérangement, on a donc les quatre données a , a_1 , b , b_1 et la résistance connue l du câble entier. Soit encore x la résistance de B à ce même point. Enfin, soit égale à z unités la résistance du défaut même. Alors, d'après la loi du partage du courant, on a

$$l = x + y, \quad (1)$$

$$a = x + \frac{yz}{y + z}, \quad (\text{fig. 118}) \quad (2)$$

$$a_1 = x + z \text{ (fig. 119).} \quad (3)$$

$$b = y + \frac{xz}{y+z}. \quad (4)$$

$$b_1 = y + z_1, \quad (5)$$

formules qui servent, au choix, à contrôler et à déterminer x et y , et, si l'on veut aussi z , de trois manières.

Nous nous bornons à indiquer ces méthodes, renvoyant pour plus de détails au Traité du D^r Schellen.

CHAPITRE VIII.

LE RÉSEAU FRANÇAIS.

NOMENCLATURE DES FILS.

Les lignes qui composent le réseau français sont presque exclusivement aériennes ; les conducteurs ne sont, en général, posés en terre ou dans des galeries, que dans des circonstances spéciales, telles que la traversée des villes, des tunnels de chemin de fer, des ponts, ou pour constituer des réseaux stratégiques. Quelques lignes de moyenne communication ont aussi été exécutées à titre d'essai avec le système des câbles enfouis, elles ont donné d'excellents résultats et n'ont que l'inconvénient de coûter très-cher.

Le réseau des lignes télégraphiques s'est développé considérablement pendant ces dernières années. On en jugera par la carte représentée Pl. III, qui donne l'état des communications sur le territoire français au 1^{er} janvier 1874.

Les fils sont distingués dans la nomenclature par les appellations suivantes :

- 1^o Les fils *internationaux* de grande et de moyenne communication ;
- 2^o *Id.* *intérieurs principaux* de grande et de moyenne communication ;
- 3^o *Id.* *intérieurs auxiliaires* de grande et de moyenne communication ;
- 4^o *Id.* *intérieurs départementaux* de grande et de moyenne communication ;
- 5^o *Id.* *intérieurs électro-sémaphoriques.*

Les fils *internationaux* relient Paris et quelques grandes villes aux frontières et à l'étranger, ils se subdivisent suivant que les fils réu-

nis sont ou non des centres de dépôt. Ils sont destinés uniquement à faire communiquer les deux villes indiquées comme leurs points extrêmes : l'invariabilité de leur affectation assure un service constamment régulier à ces grandes artères du réseau. On réserve les conducteurs du plus grand diamètre (5 millimètres) pour cette catégorie.

Les fils *intérieurs principaux* relient deux centres de dépôt ou les bureaux secondaires à leurs centres de dépôt par des communications à grande ou à moyenne distance. Les fils de cette nature peuvent être reliés par une de leurs extrémités avec tout autre fil de la même catégorie, en vue de communications temporaires. Cette réunion se fait soit par contact métallique, soit par translation.

Les fils *auxiliaires* joignent entre eux les chefs-lieux de départements et quelques villes importantes à un chef-lieu de département. L'établissement de ce genre de communications remplit l'office des chemins de fer de ceinture, établis postérieurement aux lignes rayonnantes aboutissant à Paris. Le télégraphe, utilisant le plus souvent les lignes ferrées, n'a qu'à suivre pour le développement de son réseau la piste qui lui est offerte.

Les fils auxiliaires font communiquer non-seulement les stations mentionnées comme leurs points extrêmes, mais aussi une ou plusieurs stations intermédiaires au moyen de translations.

Le diamètre des conducteurs des deux dernières catégories est le plus souvent de 4 millimètres.

Les fils *départementaux* servent à concentrer au chef-lieu les transmissions des divers bureaux d'un même département. Les ramifications reliant les sous-préfectures aux chefs-lieux de cantons ou aux communes sont désignées par le terme générique de fils *cantonaux*. Un même appareil, avec l'aide de sonneries ou de parleurs, dessert généralement au chef-lieu plusieurs fils départementaux ou cantonaux.

Les fils *électro-sémaphoriques* servent à établir les relations des postes côtiers, dits *sémaphores*, avec le bureau de l'État le plus voisin. Les sémaphores communiquent avec les navires en mer au moyen des signaux de pavillons en usage dans la marine. Le diamètre des conducteurs des deux dernières classes est ordinairement de 3 millimètres.

Pour déterminer la marche des dépêches entre les divers chefs-

lieux de départements ou villes principales assimilées aux chefs-lieux, deux méthodes se présentent. L'une consiste à créer des stations de dépôt principales centralisant d'une façon absolue le service d'une région déterminée; cette méthode a prévalu. On avait essayé une autre solution dans laquelle un chef-lieu secondaire avait dans chaque direction particulière un bureau de dépôt spécialement désigné. Il en était résulté que, dans la plupart des cas, ces conducteurs n'étaient pas suffisamment alimentés pour qu'un employé spécial fût chargé du travail sur chacun d'eux. De là une mauvaise répartition du personnel et des dépenses exagérées qui ont fait renoncer à ce système.

Les fils internationaux sont au nombre de 95, les fils intérieurs, principaux et auxiliaires sont au nombre de 334.

Il y a 400 fils départementaux reliant deux bureaux d'un même département, gérés par des agents de l'État; le nombre des fils cantonaux est beaucoup plus considérable.

Nous dirons encore quelques mots d'une catégorie de lignes appelées à recevoir dans l'avenir un grand développement, ce sont les lignes d'*intérêt privé*. Ces lignes sont destinées à relier entre eux et avec le bureau voisin les établissements dépendant d'une même exploitation industrielle. Ces réseaux sont construits par l'Administration; les intéressés contribuent à la dépense première pour une somme correspondante aux frais de main-d'œuvre; ils versent, en outre, une redevance annuelle calculée à raison de 50 francs par kilomètre de fil. Le montant annuel de ces redevances est d'environ 80.000 francs.

Enfin l'Administration établit dans les villes des réseaux télégraphiques pour certains services publics, tels que ceux des *eaux*, des *pompiers*, de la *police*, des *écluses* de rivières, etc. On voit par toutes ces applications que nous ne pouvons qu'indiquer, à combien de besoins répond aujourd'hui le service électrique.

ÉTAT DU RÉSEAU.

Le réseau français relie par des communications continues :

En Europe, tous les États;

En Afrique, l'Algérie, la Tunisie et l'Égypte, les îles Madère (Cap-Vert);

En Asie, les provinces de la Russie et de la Turquie, Aden, la Perse, les Indes britanniques, la Birmanie, la Cochinchine, la Chine et le Japon ;

En Amérique, les îles Saint-Pierre et Miquelon, les possessions anglaises et les États-Unis de l'Amérique du Nord, les Antilles et Panama, la Guyane anglaise et la Guyane française, le Brésil, l'Uruguay, la République Argentine, le Chili et le Pérou ;

En Océanie, les Indes néerlandaises (Java et Sumatra, l'Australie et la Tasmanie.

Le réseau français communique directement avec :

Les Iles Britanniques, par six câbles ;

Le Danemark, par un câble ;

La Belgique, par huit lignes ;

Le Luxembourg, par une ligne ;

L'Allemagne, par huit lignes ;

La Suisse, par six lignes ;

L'Autriche, par une ligne ;

L'Italie, par six lignes ;

L'Algérie, par deux câbles ;

L'Espagne, par cinq lignes ;

Les États-Unis, par un câble.

TARIFS.

Pour l'intérieur, dans toute l'Europe, les taxes s'appliquent, sauf quelques exceptions, à la dépêche de 20 mots ; elles s'accroissent, soit par série de 5 ou 10 mots, soit par chaque mot. Nous donnons ci-après le tableau des tarifs intérieurs de quelques États.

Tarifs intérieurs.

ÉTATS.	DEPÊCHE simple.	TAXE.	SÉRIE supplé- mentaire.	TAXE.	OBSERVATIONS.
	mots.	fr. c.	mots.	fr. c.	
France.	1 à 20	0,60 1,40	10	0,30 0,70	Dans l'intérieur d'un départem. Pour toute la France.
Grande-Bretagne et Irlande. . .	1 à 20	0,55 1,25	5	0,15 0,31	Pour une même localité. En dehors de la localité.
Italie.	1 à 15	0,50 1,00	1	0,05 0,10	Dans la localité. En dehors de la localité.
Suisse.	1 à 20	0,50 0,62	20	0,25 0,31	1 ^{re} zone de 135 kilomètres.
Allemagne du Nord.	1 à 20	1,25 1,87	10	0,62 0,93	2 ^e zone de 135 à 350 kilomèt. 3 ^e zone au delà de 350 kilom.

Correspondance de la France avec :

L'Algérie.	Voie sous-marine directe.	Dépêche de 20 mots.	4 ^{fr} ,40
	Voie de Turquie.	Par mot.	8 ^{fr} ,25
La Cochinchine. . .	Voie de Malte.	<i>id.</i>	8 ^{fr} ,50
	Voie de Russie.	<i>id.</i>	13 ^{fr} ,00

Correspondance de la France avec :

L'Allemagne.	Alsace-Lorraine.	Dépêche de 20 mots.	2 ^{fr} ,00
	A l'Ouest du Weser et de la Werra.	<i>id.</i>	3 ^{fr} ,00
	A l'Est du Weser et de la Werra.	<i>id.</i>	4 ^{fr} ,00
L'Amérique du Nord.	Iles Saint-Pierre et Miquelon.	Par mot.	2 ^{fr} ,50
	Amérique anglaise.	<i>id.</i> 3 ^{fr} ,75 à	5 ^{fr} ,65
	États-Unis.	<i>id.</i> 3 ^{fr} ,75 à	4 ^{fr} ,80
L'Australie.		<i>id.</i>	12 ^{fr} ,50
L'Autriche.		Dépêche de 20 mots.	6 ^{fr} ,50
La Belgique.		<i>id.</i>	3 ^{fr} ,00
La Chine.		Par mot.	9 ^{fr} ,75
L'Égypte.	Alexandrie.	<i>id.</i>	1 ^{fr} ,70
	Autres bureaux.	<i>id.</i>	1 ^{fr} ,95
L'Espagne.		Dépêche de 20 mots.	4 ^{fr} ,00
Les Iles Britanniques.	Londres.	<i>id.</i>	4 ^{fr} ,00
	Les autres villes.	<i>id.</i>	6 ^{fr} ,00
L'Italie.		Dépêche de 20 mots.	4 ^{fr} ,00
Le Japon (Nangasaki).	Voie de Russie.	Par mot.	10 ^{fr} ,00
	Voie de Malte.	<i>id.</i>	14 ^{fr} ,00
	Voie de Turquie.	<i>id.</i>	13 ^{fr} ,75
La Russie.	D'Europe.	Dépêche de 20 mots.	11 ^{fr} ,00
	Du Caucase.	<i>id.</i>	15 ^{fr} ,00
	D'Asie (1 ^{re} région).	<i>id.</i>	26 ^{fr} ,00
	D'Asie (2 ^e région).	<i>id.</i>	41 ^{fr} ,00
La Suisse		<i>id.</i>	3 ^{fr} ,00

BUDGET DE L'ANNÉE 1876.

Personnel.

Traitements et remises, frais d'express et de poste.	francs. 10 247 550
--	-----------------------

Matériel.

1. Matériel de l'Administration centrale.	130 000																	
2. Entretien des lignes et des bureaux (main-d'œuvre et approvisionnements :																		
30,500 kilomètres de lignes principales à 20 fr. l'un, non compris l'entretien des fils.	610 000	1 203 750																
20,000 kilomètres de lignes secondaires à 10 fr. l'un, non compris l'entretien des fils.	200 000																	
105,000 kilomètres de fil à 3 fr. l'un, pour le réseau principal.	315 000																	
31,500 kilomètres de fil à 2 ^{fr.} 50 l'un, pour le réseau secondaire.	78 750																	
Bureaux.	<table><tr><td>10 bureaux à 6 000 fr. l'un</td><td>60 000</td></tr><tr><td>10 — à 4 000 —</td><td>40 000</td></tr><tr><td>15 — à 2 500 —</td><td>37 500</td></tr><tr><td>75 — à 1 000 —</td><td>75 000</td></tr><tr><td>90 — à 500 —</td><td>45 000</td></tr><tr><td>160 — à 300 —</td><td>48 000</td></tr><tr><td>300 — à 100 —</td><td>30 000</td></tr><tr><td>1 950 — à 80 —</td><td>156 000</td></tr></table>	10 bureaux à 6 000 fr. l'un	60 000	10 — à 4 000 —	40 000	15 — à 2 500 —	37 500	75 — à 1 000 —	75 000	90 — à 500 —	45 000	160 — à 300 —	48 000	300 — à 100 —	30 000	1 950 — à 80 —	156 000	491 500
10 bureaux à 6 000 fr. l'un	60 000																	
10 — à 4 000 —	40 000																	
15 — à 2 500 —	37 500																	
75 — à 1 000 —	75 000																	
90 — à 500 —	45 000																	
160 — à 300 —	48 000																	
300 — à 100 —	30 000																	
1 950 — à 80 —	156 000																	
3. Perfectionnements et réparations des appareils, expériences.	50 000																	
4. Entretien des lignes souterraines et des lignes de tubes atmosphériques.	110 000																	
5. Approvisionnements de matériel.	90 000																	
6. Frais généraux :																		
Loyers.	500 000	1 510 000																
Frais de bureau, chauffage, éclairage.	310 000																	
Impressions, papier-bande, formules et enveloppes pour télégrammes.	430 000																	
Habillement des facteurs et des surveillants.	160 000																	
Transports et emballages.	110 000																	
7. Entretien du réseau électro-sémaphorique du littoral et des lignes sous-marines :																		
1 400 kilomètres de lignes terrestres, à 30 fr. l'un.	42 000	249 700																
127 postes électriques des stations électro-sémaphoriques à 100 fr. l'un.	12 700																	
Entretien et renouvellement des câbles reliant au continent les îles du littoral.	75 000																	
Entretien des bâtiments pour la vérification, les réparations et la pose des câbles sous-marins.	120 000																	
À reporter.	3 834 950	10 247 550																

8. Travaux neufs :

Translation des lignes télégraphiques sur les chemins de fer à ouvrir à l'exploitation en 1876, environ 700 kilomètres à 400 fr. en moyenne.	280 000	1 070 000	
Construction de nouvelles lignes et de nouveaux fils principaux, établissement de lignes auxiliaires.	150 000		
Établissement de lignes et de bureaux municipaux, avec le concours des localités intéressées. Translation à la Poste d'une partie des bureaux existant.	320 000		
Établissement de lignes d'intérêt privé.	50 000		
Construction de lignes souterraines dans la traversée des villes principales et sous les tunnels.	240 000		
Établissement de nouvelles lignes de tubes atmosphériques à Paris.	30 000		
	4 904 950	4 904 950	
Total pour le Matériel et le Personnel.	15 152 500		

Report. . . . 3 834 950 francs.
10 247 500

PRODUITS ET DÉPENSES DE LA TÉLÉGRAPHIE.

ANNÉES.	DÉPENSES D'EXPLOITATION.		DÉPENSES d'établisse- ment.	TOTAL.	PRODUIT.	EXCÉDANT	
	Personnel.	Matériel.				des dépenses sur les produits.	des produits sur les dépenses.
	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
1850	991 898,27	123 345,30	685 371,32	1 800 614,89	22 860,00	1 777 754,89	.
.	.	.	.	.	.	.	.
1860	1 096 851,32	1 473 213,00	2 119 217,15	7 689 281,47	4 752 954,12	2 936 327,35	.
.	.	.	.	.	.	.	.
1869	7 428 165,67	2 892 946,49	2 595 339,26	12 916 451,42	10 660 793,90	2 255 657,52	.
.	.	.	.	.	.	.	.
1873	9 810 750,00	3 616 750,00	1 070 000,00	14 497 500,00	16 497 500,00	"	1 200 000,00

Jusqu'en 1873 les produits sont toujours restés inférieurs aux dépenses; il y a eu presque équilibre en 1874; l'excédant pour 1875 est d'environ 1.200.000 francs. Cette situation paraît satisfaisante, si l'on met en balance les services que le télégraphe rend, soit au commerce et à l'industrie, soit au gouvernement. Pour apprécier l'importance

du service rendu à l'État seulement, nous dirons que les dépêches officielles correspondraient à un produit de deux millions par an, si elles étaient taxées comme dépêches privées.

Nous terminerons cette statistique par quelques considérations sur le mouvement de la correspondance télégraphique en France, puisées dans un travail publié par les *Annales télégraphiques* en 1874.

De 1858 à 1868, les nombres et les produits des dépêches intérieures, les nombres et les produits des dépêches internationales suivent une marche ascendante. Cette progression est continue, sauf pour les produits de la correspondance internationale, qui éprouvent des diminutions :

En 1860 (guerre d'Italie);

En 1864 (introduction de tarifs réduits avec la Belgique, la Suisse et l'Italie);

En 1868 (diminution après l'Exposition de 1867).

De 1869 à 1873, on a fait aussi diverses remarques :

1° Dans le courant d'une année, la progression *du nombre des dépêches* a lieu du mois de février au mois de septembre, avec une légère dépression d'août à septembre; cette dépression est plus accentuée pendant l'hiver;

2° Le mouvement général dans le *nombre des télégrammes intérieurs* est ascendant du commencement de 1869 au mois de juillet 1870. Peu accentué d'abord, ce mouvement s'accroît notablement en novembre 1869, par l'abaissement des taxes voté en 1868; le nombre des dépêches intérieures est de 700.000 pour le mois de juillet 1870; en octobre 1869, ce nombre était de 340.000.

La déclaration de guerre avec l'Allemagne fait tomber brusquement ce nombre à 250.000; il diminue jusqu'en février 1871; l'invasion cessant, l'ascension se poursuit jusqu'en septembre de la même année. A partir de là, on n'observe plus que des oscillations peu étendues, et comprises, en 1872 et 1873, entre des minima de 410.000 et 420.000 et des maxima de 500.000 à 550.000.

Cette sorte de stagnation peut sans doute être attribuée à la situation générale du pays; la loi des surtaxes, appliquée à partir du 6 avril 1872, n'y est peut-être pas non plus tout à fait étrangère, et enfin il ne faut pas perdre de vue que les dépêches assez nombreuses d'Alsace-Lorraine figurent maintenant à la correspondance internationale.

3° Du mois de janvier au mois de juillet 1869 la progression des

recettes de la correspondance intérieure est parallèle à celle du nombre des dépêches. Après un abaissement au mois d'août, suivi d'un relèvement en septembre, il y a presque constamment, jusqu'en février 1870, un mouvement descendant produit par la réduction des taxes édictée par la loi du 4 juillet 1868, qui a eu naturellement, on l'a vu plus haut, une influence inverse sur le nombre des télégrammes. A partir de février 1870, une sorte d'équilibre s'établit entre le chiffre des produits et le nombre des dépêches; ils augmentent tous deux jusqu'à l'époque de la guerre, et la courbe des recettes tend de plus en plus à se confondre avec celle du nombre des dépêches, sauf quelques écarts peu considérables: les deux courbes restent très-rapprochées l'une de l'autre, pendant la période comprise entre juillet 1870 et avril 1872. Alors, sous l'influence de la loi des surtaxes (*), la courbe des recettes remonte rapidement; elle s'élève, pour le mois d'août 1872, à 675.000, et parvient, en octobre 1873, jusqu'à 720.000, hauteur qu'elle n'avait point encore atteinte, même avant la guerre. Elle fléchit ensuite à l'approche de la saison d'hiver, comme chaque année à pareille époque.

4° La courbe du *nombre des dépêches internationales* suit une marche presque uniforme et légèrement progressive. On ne constate, pendant la période de 1869 à 1873, qu'une seule dépression réellement sensible, c'est celle qui correspond aux événements de 1870-1871.

La courbe des *recettes* présente, au contraire, des oscillations plus marquées: en 1872 et en 1873, le mouvement ascensionnel s'accroît d'une manière notable, ce qui peut s'expliquer par l'ouverture des correspondances avec des pays lointains dont les taxes sont très-élevées.

Les tracés graphiques, auxquels donne lieu la statistique que nous analysons, fournissent des indications utiles pour la discussion des questions de tarifs; nous ne pouvons ici qu'indiquer le principe de ces applications.

Nous donnerons en terminant, comme point de comparaison, le chiffre des transmissions de toute nature effectuées par les bureaux télégraphiques français en 1874. Ce chiffre est de 34.000.000 environ, ce qui, à raison de quatre transmissions en moyenne par dépêche, correspond au chiffre de 8.500.000 dépêches annuelles (le chiffre des

(*) Loi du 29 mars 1872, appliquée à partir du 6 avril de la même année.

dépêches taxées dans cet exercice a été, en réalité, 6.898.329, le reste correspond au transit).

Les réclamations adressées à l'Administration, pour erreurs commises dans l'expédition des messages, sont dans la proportion de 1 pour 25.000 transmissions ou 1 pour 6.250 dépêches. Il est juste de reconnaître que ce rapport n'indique pas exactement la qualité du travail fait. Les résultats acquis par la pratique, dans divers pays, montrent que la moyenne des erreurs de toute nature reste dans les limites du possible quand on ne dépasse pas la proportion de 1 pour 200 dépêches.

DÉPÊCHES INTERNATIONALES.

Les réseaux télégraphiques des États servent non-seulement à l'échange de la correspondance intérieure, mais aussi au transit des dépêches internationales, c'est-à-dire de celles qui sont échangées entre deux pays quelconques.

Une Agence commune à toutes les Administrations télégraphiques du monde est établie à Berne; elle a pour mission de publier les documents concernant le tarif international, et spécialement de notifier aux intéressés les modifications dans les tarifs, les dérangements qui motivent des changements de direction dans les dépêches, etc. La carte que nous publions Pl. IV a été dressée par les soins du bureau de Berne.

Des réunions périodiques des délégués des Administrations ont lieu dans les diverses capitales. En 1875, la Conférence s'est tenue à Saint-Petersbourg. On y a revisé les règlements du service dans tous les détails minutieux que comporte le travail d'un bureau télégraphique.

Les innovations principales réalisées dans cette Conférence, se réfèrent :

1° A l'usage des dépêches en langage secret, autorisé par presque tous les États, pour la correspondance privée;

2° A l'introduction, sous le nom d'*Avis télégraphique*, d'une nouvelle catégorie de dépêches limitée au maximum de 10 mots et acquittant une taxe égale aux 3,5 de la taxe de la dépêche de 20 mots;

3° A l'institution des télégrammes *urgents*, c'est-à-dire obtenant une priorité sur les autres, moyennant le paiement d'une taxe triple;

4° A l'admission des télégrammes *recommandés*, moyennant aussi le paiement d'une taxe triple. Ces télégrammes sont collationnés d'office: l'accusé de réception et le collationnement sont transmis à l'expéditeur. En outre, si le télégramme recommandé se perd en dehors d'un cas de force majeure, l'Administration rembourse, outre la taxe, une somme fixe de cinquante francs.

Les règles relatives aux réponses payées d'avance, au collationnement et à l'accusé de réception, précédemment en usage, ont été aussi revisées à la Conférence de Saint-Pétersbourg. Il en a été de même pour la comptabilité entre les divers États, qui s'est trouvée simplifiée par l'adoption du principe que dans les relations deux à deux, chacun encaisse ses propres recettes, étant admis, ce qui est approximativement vrai, que le trafic est égal à l'aller et au retour.

Plusieurs États, parmi lesquels la France, ont adopté aussi le *mandat télégraphique*, pour les envois d'argent. La formalité à accomplir est le dépôt en numéraire, au bureau de poste de la localité, de la somme à envoyer. Ce bureau délivre un *mandat* qui est transmis par l'office télégraphique de départ à l'office d'arrivée; celui-ci le fait parvenir au destinataire, qui reçoit ainsi du bureau de poste de sa résidence le montant du mandat. L'expéditeur paye les droits de poste et le prix d'une dépêche à deux destinataires, pour la communication faite à la station télégraphique d'arrivée à l'office postal.

CHAPITRE IX.

LE TÉLÉGRAPHE SOUS-MARIN.

La plus brillante conquête du télégraphe électrique est l'empire de la mer : le câble atlantique a couronné une entreprise poursuivie pendant douze ans avec persévérance et ténacité. Nous dirons les difficultés que présente la solution de cet intéressant problème, les moyens gigantesques qu'il a mis en œuvre ; nous décrirons les procédés de la transmission, différents de ceux qui conviennent à l'exploitation des lignes terrestres. Pour rendre complète cette étude, nous donnerons un aperçu des communications sous-marines qui, à ce jour, sillonnent le monde.

LIGNES DE LA MANCHE.

Le début de la télégraphie sous-marine remonte à l'année 1850. M. Brett immergea le premier, entre Douvres et le littoral français, un simple fil de cuivre recouvert de gutta-percha, long de 50 kilomètres. Cet essai, qui ne fut pas couronné de succès (le fil se rompit après l'échange de quelques signaux), fut repris en 1851 ; un conducteur plus résistant, cuirassé de fer, fut posé entre Douvres et le cap Gris-Nez près de Calais. Depuis cette époque, la France est reliée à l'Angleterre par plusieurs communications.

CABLE ATLANTIQUE.

En 1854 se forme une compagnie anglo-américaine, sous le nom de *Société du Télégraphe de Londres à New-York*. Les opérations de

cette compagnie se bornèrent à la réunion de Terre-Neuve au continent américain par un câble de 160 kilomètres.

En 1856, nous retrouvons une nouvelle société constituée en Angleterre par MM. Cyrus Field, Brett, Whitehouse et Ch. Bright, sous le nom de *Compagnie Transatlantique*. C'est à elle que revient l'honneur d'avoir établi le premier trait d'union entre les deux mondes.

Les gouvernements anglais et américain accordaient une subvention de 350,000 francs par an, pendant la durée effective de la communication, et offraient leur concours pour les études et la pose. Cette dernière opération fut décidée pour l'année suivante.

Les points d'atterrissement choisis furent la baie de la Trinité, sur la côte orientale de Terre-Neuve, et Valentia, sur la côte occidentale de l'Irlande ; la distance, suivant l'arc de grand cercle, est de 3.100 kilomètres.

Quant à la profondeur de la mer entre les deux points, les sondages firent reconnaître qu'à partir de la côte de l'Irlande, le fond s'abaissait progressivement ; à 200 kilomètres, on atteignit la profondeur de 1.000 mètres. Là, le sol marin s'incline brusquement pour descendre à 3.200 mètres. Puis sur une longueur de 2.500 kilomètres, c'est-à-dire jusqu'à 400 kilomètres de Terre-Neuve, les fonds restent entre 3.000 et 4.500 mètres. Cet espace, baptisé par le commandant Maury du nom de *plateau télégraphique*, est revêtu d'une boue visqueuse devant former un lit assez doux pour le conducteur qu'on allait lui confier : relativement à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 16.000 mètres, cette désignation est justifiée. On prépara 4.000 kilomètres de câble, pesant 2.500 tonneaux et ayant coûté 6 millions de francs. La moitié de cette cargaison fut embarquée sur le vapeur anglais *Agamemnon*, et l'autre moitié sur la frégate américaine *le Niagara*. Les deux bâtiments partirent ensemble de Valentia le 5 août 1857 ; le troisième jour le câble se rompit, par des profondeurs de 3.600 mètres, on en avait dévidé 600 kilomètres ; c'était un premier échec, on revint en Angleterre.

Une seconde campagne fut décidée pour l'année suivante ; on prépara dans ce but 500 kilomètres de câble neuf. Il fut ensuite convenu que les deux navires chargés de fil partiraient du milieu de la distance, l'un vers l'Irlande, l'autre vers Terre-Neuve, afin d'abréger de moitié la durée de l'immersion. L'expédition quitta Plymouth le 10 juin 1858 ; le mauvais temps retarda les navires, qui ne furent que

le 26 au rendez-vous assigné. Trois tentatives successives furent infructueuses ; on laissait encore cette fois 500 kilomètres de câble en pâture à l'Océan.

On repartit le 17 juillet ; les deux navires se retrouvèrent réunis le 28, par un temps magnifique. Le 5 août, les deux extrémités étaient amenées à terre, l'une à Valentia, l'autre à Terre-Neuve. Les éléments étaient domptés ; un enthousiasme inouï salua des deux côtés de l'Atlantique la nouvelle de cet événement. Mais cette joie devait être de courte durée ; après la transmission des messages de félicitation et de quelques dépêches péniblement arrachées à un conducteur très-défectueux, on n'en tira plus rien. Le résultat financier de l'entreprise restait déplorable.

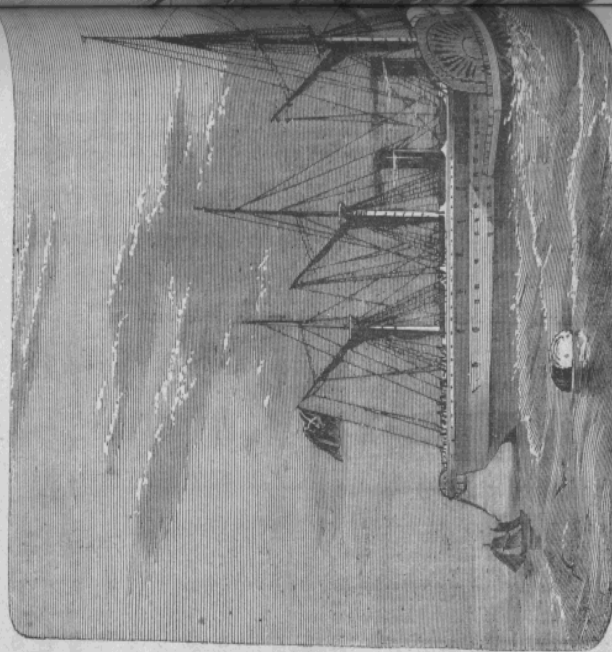
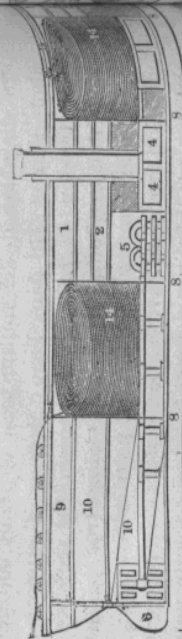
Nous voici au mois de septembre 1858, avec une cruelle déception. Les auteurs seuls ne désespéraient pas ; ils savaient que tout était à perfectionner : fabrication du câble, machine de pose, transmission des signaux.

Les capitalistes ne partagèrent leur foi qu'après six ans de sollicitations ; nous nous retrouvons en 1864. Dans l'intervalle, plusieurs tentatives dans d'autres directions, et une vaste enquête prescrite par le gouvernement anglais, en 1861, vinrent éclairer la question. Dans cette enquête furent entendus tous les électriciens, ingénieurs, fabricants, qui avaient assisté aux opérations précédentes, ou s'étaient occupés de télégraphie sous-marine.

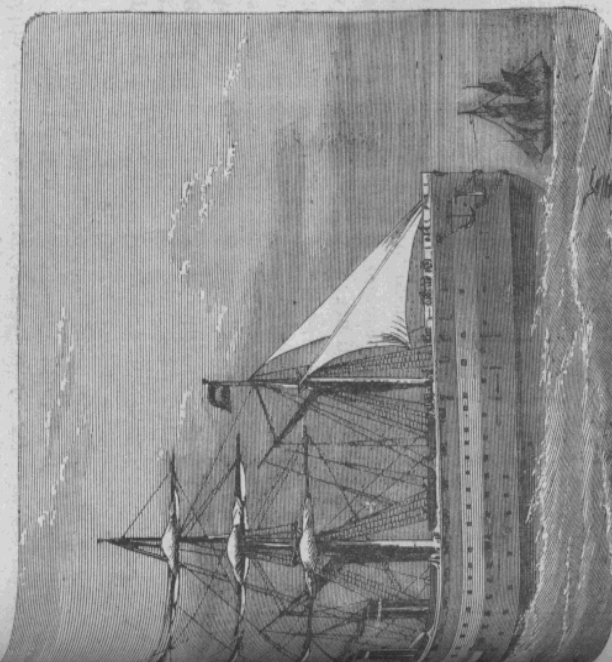
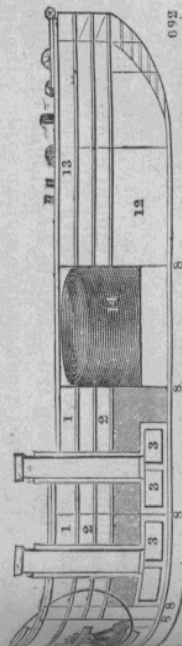
Un nouveau modèle de câble fut adopté ; le choix des matériaux et la fabrication furent entourés de soins particuliers qui n'avaient point été apportés antérieurement. La *résistance* et l'*isolement* du conducteur furent mesurés avec une précision inouïe. Le câble avait un diamètre de 27 millimètres, il pesait 900 grammes par mètre dans l'air et 370 dans l'eau ; il pouvait supporter, sans se rompre, une tension de 7.800 kilogrammes. Au mois de mai 1865, on en possédait une longueur de 4.300 kilomètres, pesant 4.000 tonneaux.

Il fallait trouver un bâtiment pour cette masse, on renonçait à la division sur deux navires. Le *Great-Eastern* reposait inutilement dans la Tamise ; il fut rapidement approprié à cette nouvelle destination. Trois grands puits étanches en tôle, de 17 mètres de diamètre et de plus de 6 mètres de profondeur furent disposés pour recevoir le câble. Le *Great-Eastern* partit au commencement de juillet, sous le commandement du capitaine Anderson.

La fig. 120 représente ce magnifique bâtiment sous voiles ; la

Le *Great Eastern* électrique.Coupe du *Great Eastern*.

1. Salon supérieur. — 2. Salon principal. — 3. Chaudières pour les machines à vapeur. — 4. Cabestan. — 5. Cargaison. — 6. Machines à vapeur.

Le *Great Eastern* électrique.

Machines de câble.

7. Cabine du capitaine. — 8. Machines à hélice. — 9. Cabestan. — 10. Cargaison. — 11. Machines à vapeur. — 12. Compartiments des matelots. — 13. Trois puits pour le câble.

coupe qui est donnée au-dessous est suffisamment expliquée par la légende qui l'accompagne.

Nous continuons le récit de l'expédition. Le 24 juillet, 155 kilomètres de câble environ avaient été immergés, lorsqu'on constata subitement une diminution sensible de l'isolement. L'ingénieur, M. Canning, se décida à relever le câble pour trouver le point défectueux. Il en fallut relever 18 kilomètres; cette opération laborieuse dura vingt-quatre heures. On trouva le câble traversé diamétralement par un morceau de fil de fer, qui avait pénétré dans l'enveloppe de gutta-percha et atteint le conducteur en cuivre. On coupa la partie défectueuse, on fit une soudure et l'on se remit en route. Cinq jours se passèrent sans encombre; les inquiétudes qu'avait fait naître le premier accident commençaient à se calmer, quand, le 29 juillet, 1.300 kilomètres étant immergés, une nouvelle perte plus sérieuse que la précédente se déclare. On procède au relèvement, et au bout de neuf heures, on trouve encore un fil de fer pointu qui traverse le câble. L'accident réparé, on remet le cap sur Terre-Neuve. Le 2 août, un nouveau défaut est signalé par le galvanomètre employé à mesurer le courant; on commence le relèvement, mais un accident survenu à la machine oblige à stopper; le câble, soumis à une tension énorme, se rompt et tombe au fond de l'Océan. On est à 1.400 kilomètres de Terre-Neuve, par des profondeurs de 3.700 mètres. M. Canning essaya en vain de draguer le conducteur au fond de l'Océan. Au dire des ingénieurs anglais, le câble fut quatre fois saisi par les grappins du *Great-Eastern*; quatre fois la corde qui tenait le grappin rompit avant de l'amener à la surface. Ayant épuisé toutes les cordes dont il pouvait disposer, M. Canning se résigna à regagner l'Angleterre, après avoir soigneusement relevé la position où gisait l'extrémité du fil et l'avoir marquée par des bouées.

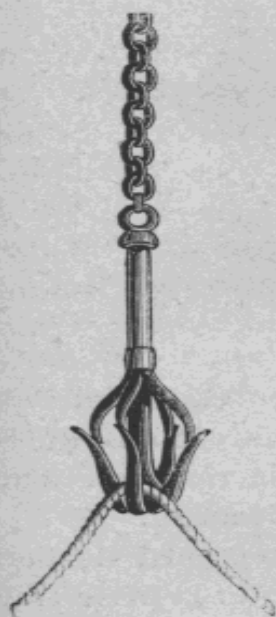
Tel est le récit succinct de la catastrophe de 1865. Mais on s'était vu si près du but qu'elle n'inspira point de découragement. Nous verrons dans la suite de cette notice que le succès vint bientôt récompenser tant d'efforts.

L'échec de 1865 fut promptement réparé. On était fixé sur les qualités du *Great-Eastern*; dès le retour, les compagnies intéressées se décidèrent à poser un nouveau câble et à faire les tentatives nécessaires pour repêcher l'ancien, que l'on prolongerait jusqu'à Terre-Neuve, de manière à établir une double communication.

Le câble laissé au fond de l'eau continuait à être expérimenté par

son extrémité libre à Valentia, et l'on constatait que son état électrique n'éprouvait aucune altération. Pour établir la communication avec Terre-Neuve, on disposait de 2.000 kilomètres de câble ancien, et l'on fit fabriquer 3.500 kilomètres de câble neuf. Le *Great-Eastern*, malgré son énorme capacité, était insuffisant pour recevoir tout le câble; la Compagnie logea une partie de l'ancien conducteur sur deux steamers qu'elle fréta : l'*Albany* et la *Medway*. Un troisième navire, le *William-Cory*, portait le câble d'atterrissement destiné à la côte d'Irlande. Le *Great-Eastern* fut réparé et muni d'un appareil qui permettait de rendre instantanément les deux roues indépendantes l'une de l'autre, de sorte qu'en les faisant marcher en sens

Fig. 121.



contraire, le navire tournait sur lui-même comme un pivot. L'appareil de déroulement fut renforcé et disposé de façon à pouvoir, au besoin, relever le câble par l'arrière. Un appareil de relèvement par l'avant fut installé à neuf.

Le *Great-Eastern*, l'*Albany* et la *Medway* furent munis de grappins, de bouées et de cordages à la confection desquels on apporta le plus grand soin. Le dragage, en effet, ne devait plus être une opération accidentelle; il entra dans le plan de la campagne.

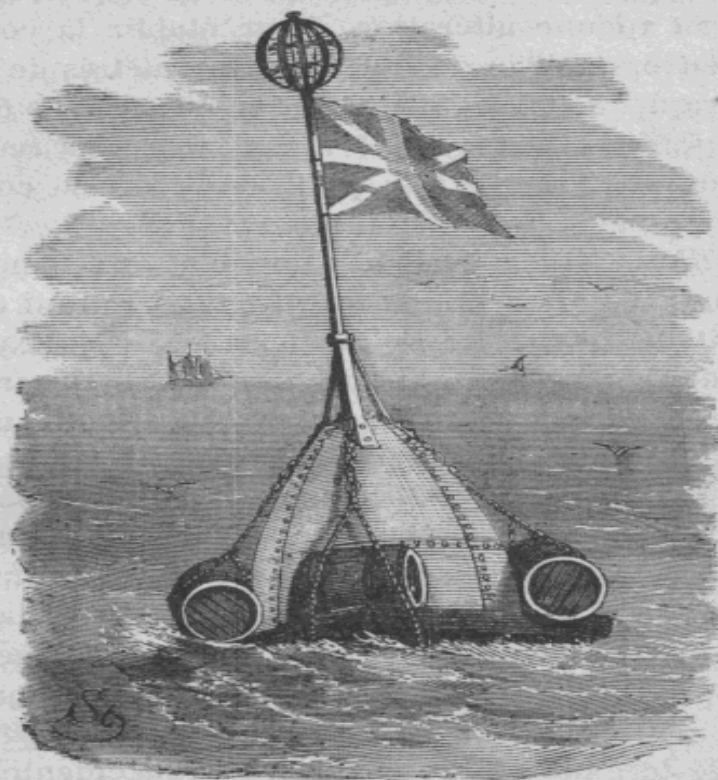
Nous donnons ci-contre, *fig. 121*, la disposition d'un *grappin*. Cet instrument, armé de fortes griffes hautes de 10 à 12 pouces, est complété par de solides ressorts d'arrêt pour retenir captif le câble.

La *fig. 122* représente le type d'une *bouée* pouvant alléger un poids de 10.000 kilogrammes.

Elle était destinée à supporter la trainée du câble relevée du fond de la mer; d'autres bouées plus petites devaient servir à maintenir à la surface l'extrémité du conducteur, lorsqu'un accident obligerait à faire une coupure.

Le 15 juillet 1866, le *Great-Eastern* souda son câble au câble d'atterrissement, préalablement fixé à Valentia, puis, accompagné de l'*Albany* et de la *Medway*, et escorté du navire *le Terrible*, il fit route à travers l'Océan. Il suivait un chemin parallèle à celui de l'année précédente, à 50 kilomètres dans le Sud. L'opération marcha merveilleusement. La communication avec Valentia était excellente. Un

Fig. 122.



journal lithographié donnant les nouvelles d'Europe était distribué deux fois par jour aux passagers et à l'équipage. Dans la nuit du 18 au 19, il y eut un enchevêtrement du câble dans le réservoir d'arrière, mais l'accident fut réparé avec sang-froid et décision.

Vers le 21, on passa avec une certaine angoisse en regard de l'endroit où avait eu lieu l'accident de l'année précédente; la brise fraîchissait, et le *Great-Eastern* avait de violents ressauts. Mais enfin, le 27 juillet, on reconnut la terre; le lendemain soir, le câble d'atterrissement était placé dans l'anse de *Heart's Content*, et la communication se trouvait complète. Le fil était dans d'excellentes conditions de transmission. Le message du président Johnson à la reine Victoria, composé de quatre-vingt un mots, fut transmis de Terre-Neuve à Valentia en onze minutes.

Mais le *Great-Eastern* n'avait pas achevé sa tâche. Le nouveau câble heureusement posé, il restait à retrouver et à compléter l'ancien. Après quelques jours de repos, le navire partit pour son nouveau champ de manœuvre; il s'y trouvait le 12 août avec l'*Albany*, la *Medway*

et le *Terrible*. Pendant vingt jours cette flottille sillonna de ses grappins le fond de la mer dans la région où se trouvait l'extrémité de l'ancien câble. Les bouées placées en 1865 avaient disparu; mais les observations faites permettaient de retrouver la position. Les marins les plus expérimentés regardaient comme impossible de saisir l'ancien câble par des profondeurs de 3.500 ou 4.000 mètres et de l'amener sans encombre sur le bâtiment. On y réussit pourtant après vingt jours d'efforts et de tentatives de toutes sortes. Ce fut un moment solennel, et qui a laissé une vive impression chez tous les témoins de cette opération, que celui où le chef électricien embarqué sur le *Great-Eastern*, ayant amené à ses appareils l'extrémité du câble repêché au fond de l'Océan, indiqua par un hurrah de triomphe qu'il communiquait avec l'Irlande.

On correspondait non-seulement avec Valentia, mais aussi avec Terre-Neuve, au moyen des deux câbles réunis. Il ne restait plus qu'à compléter le câble de 1866; cette opération fut terminée le 8 septembre. Ainsi deux fils télégraphiques formant ensemble une longueur de plus de 7.000 kilomètres joignaient les deux rivages de l'Atlantique.

On ne tarda pas à reconnaître combien était heureuse la circonstance qui avait déterminé l'établissement de ces deux communications. Dès le mois de janvier 1867, le câble de 1866 fut rompu par un énorme glaçon flottant qui était venu s'échouer près du banc de Terre-Neuve. Ce dégât put être réparé au bout de quelques semaines.

Peu de temps après, ce fut le tour du câble de 1865; la rupture se produisit encore à une faible distance de Terre-Neuve, la réparation fut également facile.

En 1869, une nouvelle compagnie, la Société du câble transatlantique français, réussit la pose d'un troisième conducteur entre l'Europe et l'Amérique. Une fusion s'est produite entre cette compagnie et la Société anglo-américaine; par le concours des deux associations, une quatrième communication, établie en 1873, est venue assurer d'une manière absolument fixe les relations des deux mondes. Il est probable que nul accident ne pourra désormais les faire cesser.

Le tableau suivant indique la progression rapide de l'abaissement du tarif, conséquence de la multiplicité des conducteurs :

ANNÉES.	DÉPÊCHE SIMPLE.		TAXE PAR MOTS supplémentaires.
	Nombre de mots.	Taxe.	
1866	20	525 ^f ,00 ^c	26 ^f ,23 ^c
1867	20	255 ^f ,00 ^c	15 ^f ,75 ^c
1868	10	131 ^f ,25 ^c	13 ^f ,15 ^c
1869	10	84 ^f ,40 ^c	8 ^f ,40 ^c
1870	10	37 ^f ,50 ^c	3 ^f ,75 ^c

Notons en passant une facilité offerte aux correspondants par les agences. Lorsqu'un expéditeur est en relations habituelles avec un destinataire, un numéro de convention peut servir à désigner tout à la fois le nom et l'adresse de chacune des parties; la transmission de ce numéro ne figurant que pour un mot dans le compte, laisse au cadre de dix mots l'élasticité suffisante.

Nous parlerons maintenant de la construction des câbles. Le fil conducteur de l'électricité, l'*âme* du câble, est une cordelette de cuivre, formée de sept fils tordus ensemble. La plus grande attention est donnée à la soudure des bouts de fil avant la torsion, de peur d'augmenter la *résistance* au passage, par suite d'une continuité imparfaite.

Le fil conducteur a besoin d'être *isolé*; l'eau dans laquelle il est plongé offrant un passage facile à l'électricité. De toutes les substances connues, la *gutta-percha* est la plus généralement employée pour confectionner la gaine du fil de cuivre.

Cette substance est un suc végétal que l'on extrait par incision d'un arbre, l'*Isontandra-gutta*, de l'ordre des Sapotacées, très-abondant dans les îles de l'Océanie, notamment à Java, à Sumatra et à Bornéo. Solidifiée à la température ordinaire, elle devient consistante et souple, et elle conserve cette propriété jusqu'à 10°. A partir de 30°, elle devient molle et facile à mouler; elle fond à 120°.

Le *caoutchouc* serait un meilleur isolant, mais il attaque le cuivre; en outre, il s'altère vers 80°, ce qui ne permet pas de le travailler à chaud, comme on fait de la gutta-percha.

Pour former une gaine continue autour de l'âme, on emploie un dispositif fort simple. Imaginez un gros tube ou conduit horizontal dans lequel glisse un piston; le fil enroulé sur deux tambours traverse verticalement ce conduit; l'orifice supérieur a un diamètre

déterminé suivant l'épaisseur que l'on veut donner à l'enveloppe isolante. La gutta-percha fluide est introduite dans le conduit, et sous la pression du piston s'échappe par l'orifice supérieur en s'attachant au fil sous forme d'une gaine qui est solidifiée avant d'atteindre le haut de l'atelier.

La gutta-percha se conserve intacte dans l'eau de mer durant un grand nombre d'années; on a retiré, au bout de douze ans d'immersion, des tronçons de câble en parfait état. Il importe que l'immersion ait lieu immédiatement après la fabrication, ou tout au moins que le câble soit conservé dans un lieu frais, afin que l'âme ne perde point sa position centrale dans l'enveloppe qui commence à se ramollir à 30°.

A des profondeurs où le câble subit des pressions de 500 atmosphères, on pouvait douter de l'isolement. L'expérience a démontré que la couche superficielle seule absorbait une certaine quantité d'eau, la pression même complète l'isolement.

Afin de protéger la gutta-percha contre les détériorations qui peuvent résulter de l'opération de la pose ou du séjour au fond de la mer, on couvre la gaine d'un revêtement de fils de fer, dont l'épaisseur varie suivant la profondeur. Cette armature prévient aussi la rupture de l'âme de cuivre que pourrait amener un excès de traction. Une enveloppe de chanvre est interposée entre la gutta-percha et les fils de fer extérieurs.

Par l'immersion, le câble de 1865 perdit plus de la moitié de son poids, celui de 1858 n'en avait perdu que le tiers. Pour arriver à ce résultat, on a augmenté le volume du câble en recouvrant de chanvre goudronné les fils de fer composant l'armature.

Dans le voisinage des côtes, le câble est plus exposé encore que dans les fonds; il a pour ennemis les poissons, les ancres des navires, les vagues. Pour qu'il résiste à tous ces assauts, on l'arme d'une double ceinture de fils de fer.

Nous terminerons cette description par deux dessins (*fig.* 123 et 124) représentant le câble des fonds et le câble d'atterrissement.

Pour mener à bonne fin l'entreprise de la télégraphie océanique il ne suffisait pas de réunir beaucoup d'argent, d'armer un grand vaisseau et de l'emplir d'une corde précieuse; il ne suffisait pas d'appliquer au déroulement de ce câble et à son établissement en mer profonde les règles de l'art le plus délicat, il fallait encore créer des méthodes pour vérifier à chaque instant la qualité *électrique* du con-

Fig. 123.

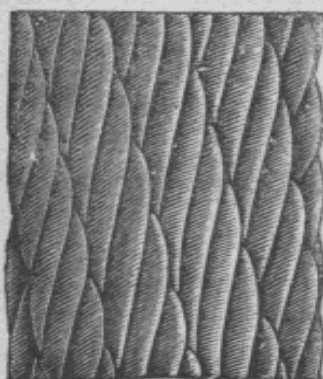
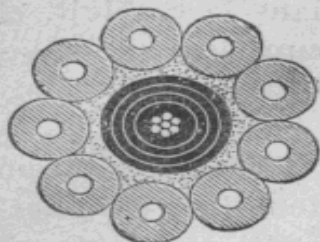
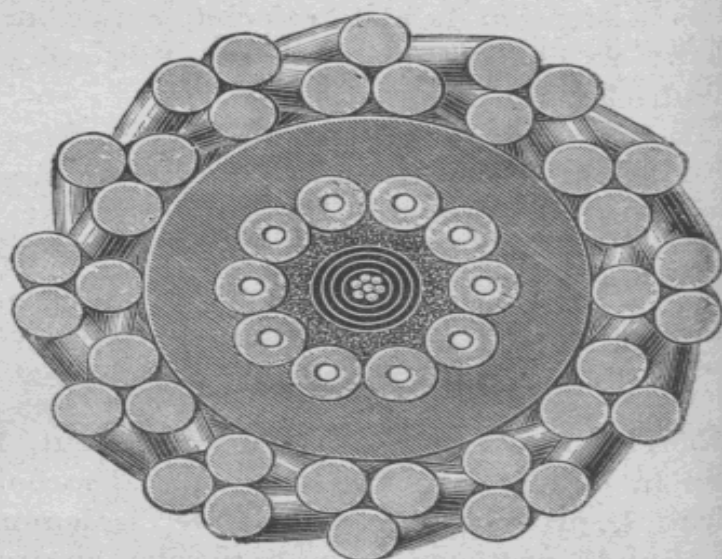


Fig. 124.



ducteur, dont dépendait le succès de l'opération; il fallait imaginer les instruments de transmission pour que le rendement de cette colossale machine fût en rapport avec ses dimensions, et par suite avec la dépense d'établissement.

Ici nous constaterons un de ces retours curieux dans l'histoire du progrès; la science, après avoir éclairé la pratique, reçoit de celle-ci des théories fécondes. Ce sera l'honneur des ingénieurs électriciens d'avoir contribué à dissiper le nuage qui planait au-dessus des manifestations électriques, de l'avoir rendu tellement transparent, qu'on aperçoit déjà, par des trouées sans nombre, la claire lumière de la vérité.

Dans l'expédition de 1857, les dispositions prises pour la transmission des signaux entre la côte et le navire avaient été très-défectueuses; après quelques jours de marche il devint impossible de s'entendre. Dès 1858, M. W. Thomson construisit un appareil très-sensible, le *galvanomètre à miroir*, que nous décrivons plus loin; à partir de ce moment la voie fut ouverte à l'expérience.

L'interruption des communications régulières par le câble de 1858 eut lieu le 3 septembre; mais la conductibilité restait assez

grande pour qu'avec le nouvel instrument on pût télégraphier encore quelques mots jusqu'au 20 octobre; puis, aucun courant ne parvint. Les causes de cette interruption ne furent pas éclaircies; on a lieu de supposer toutefois que les piles énergiques dont on fit usage hâtèrent la destruction du cuivre, dont l'isolement était devenu défectueux.

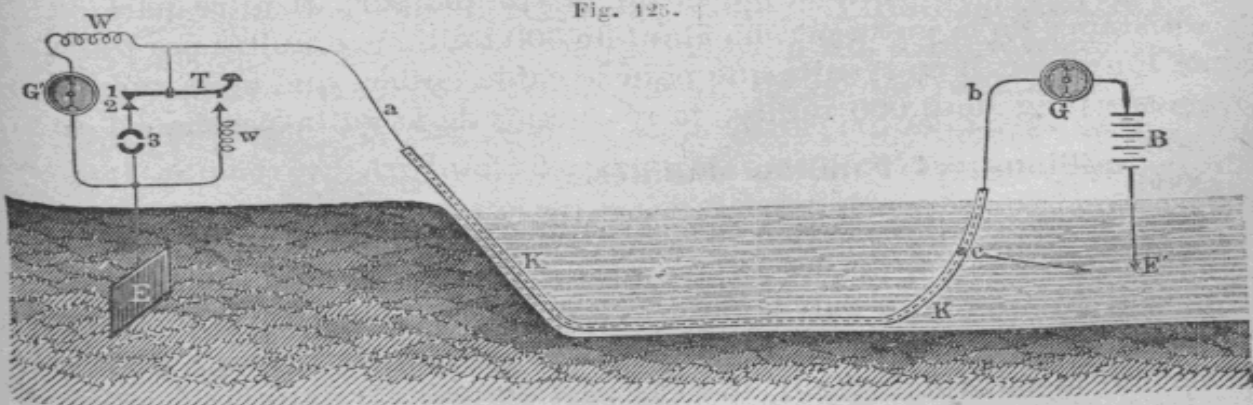
Pour le câble de 1865 les vérifications les plus minutieuses précédèrent l'embarquement. Chaque pied de la longueur totale fut éprouvé en vase clos et soumis à l'action d'une presse hydraulique. L'isolement et la conductibilité furent mesurés avec précaution, le câble étant plongé dans l'eau.

En 1866 on perfectionna encore les essais; l'enseignement du malheur avait porté ses fruits, on s'attacha à formuler des règles pour deviner la nature du dérangement d'après l'apparence des indications du galvanomètre. Les accidents furent rapportés à cinq causes essentielles :

- 1° Une rupture du fil de cuivre;
- 2° Une rupture du cuivre et de la gutta-percha établissant une communication entre l'eau et le métal;
- 3° Une rupture du cuivre et de la gutta-percha, comme précédemment, mais un imperceptible contact du cuivre avec l'eau;
- 4° Une communication métallique du cuivre et de l'armature en fer;
- 5° Une fissure dans la gutta-percha établissant une communication entre l'eau et le cuivre.

Pendant la pose, le câble était ausculté d'une façon permanente au moyen du dispositif représenté *fig. 125*. L'extrémité *a* était en re-

Fig. 125.



lation avec le câble côtier d'Irlande, l'extrémité *b* avec le galvanomètre *G*. La pile *B* sur le navire se composait de cent éléments avec sable et sciure de bois.

Sur la côte, entre le câble et le galvanomètre *G'* on intercala une résistance artificielle égale à celle d'une enveloppe de gutta-percha de 5 milles de longueur; la résistance d'un mille de gutta-percha à la température moyenne de la mer étant de 500 millions d'unités, la résistance *W* était donc de 100 millions d'unités. Entre *W* et l'extrémité du câble se trouvait une dérivation reliée à un *manipulateur* *T*, levier mobile autour de son point milieu. Dans sa position de repos le manipulateur est isolé de la résistance *w* moindre que *W*. Lorsqu'on abaisse l'extrémité *T*, la communication à la terre est établie par la résistance *w* et la plaque *E*. Entre le point de contact 2 et la terre est une communication métallique ouverte 3, qu'on peut fermer à volonté, afin de relier directement à la terre le câble en dehors du circuit du galvanomètre et de la résistance *W*. Tant que le contact reliant le manipulateur *T* à la résistance *w* n'est pas établi, un courant positif partant du bord parcourt le câble en suivant la direction *BbaWG'* pour aboutir à la terre *E*, tandis que l'électricité négative se perd dans la mer par la plaque *E'*.

Mais, outre ce courant qui traverse l'âme du cuivre, un second courant de même sens traverse le galvanomètre *G* du navire, provenant des dérivations qui s'opèrent sur toute l'étendue de la surface de l'enveloppe isolante. Ce deuxième courant est souvent plus fort que le premier.

Pour apprécier l'intensité de chacun de ces deux courants, nous remarquerons que le premier traverse la résistance *W* qui est de 100 millions d'unités (on néglige les résistances relativement faibles des galvanomètres, de la pile et du fil conducteur). D'autre part, la résistance de la gutta-percha étant de 500 millions d'unités par mille de longueur, il en résulte que pour le câble entier, que nous supposons long de 2.000 milles, la résistance de la gutta-percha est de $\frac{500}{2000}$ millions = $\frac{1}{4}$ million d'unités.

Or, les intensités sont en raison inverse des résistances; les deux courants sont donc entre eux comme 1/400; le premier courant est le seul qui arrive au galvanomètre *G'* de la côte, il n'est que de 1/400 du courant de la gutta-percha. Il est vrai que les deux courants traversent le galvanomètre *G*, mais la part du premier dans la déviation

de l'aiguille n'est que de $1/4$ pour 100, proportion négligeable. En définitive, sur le navire la déviation de l'aiguille provient presque exclusivement de l'isolement imparfait de l'enveloppe. Le courant passant du navire à la côte est encore suffisant pour produire des déviations lisibles dans le galvanomètre très-sensible G.

Les déviations dans les deux instruments G et G', distinctes pour chacune, restent constantes tant que les conditions de la pile et celle du câble ne varient point. Mais si un défaut se produit dans l'isolement, une partie de l'électricité se perdant par le point défectueux, le galvanomètre G reçoit un courant plus fort et le galvanomètre G' un courant plus faible que le courant normal.

Pour connaître la distance du défaut on fait deux expériences : on détermine d'abord la résistance du fil de cuivre en faisant isoler l'extrémité vers la côte, puis on avertit le correspondant de conduire à la terre directement l'extrémité du câble, ce qui se fait en fermant le contact 3; on déduit de cette seconde opération une autre valeur de la résistance. Le calcul apprend ensuite à combiner ces deux déterminations pour en tirer l'inconnue, c'est-à-dire la distance du point où s'est produit le dégât.

Une rupture de l'âme de cuivre, sans rupture de la gutta-percha, faisant disparaître le courant dans le galvanomètre G' de la côte, l'aiguille de celui-ci revient à zéro, mais le galvanomètre G du navire reste dévié, avec un angle moindre, car le courant de la gutta-percha subsiste pareillement. La diminution proportionnelle du courant sert à déterminer l'endroit où est la perte.

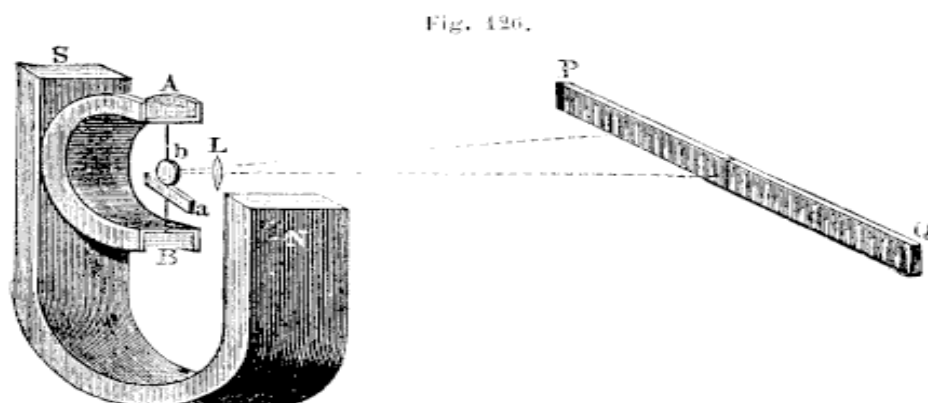
S'il y avait rupture totale du câble, dont le courant se perdrait dans la mer, le galvanomètre du navire donnerait une déviation très-forte, celui de la côte ne serait plus influencé.

Nous indiquerons encore comment s'opère la transmission des signaux de la côte au navire. Par la pression du manipulateur la petite résistance w remplace dans le circuit la grande résistance W , ce qui détermine un changement dans la déviation du galvanomètre G du navire. Au contraire, pour transmettre des signaux à la côte, le navire peut opérer soit en intervertissant les pôles de la pile, soit en modifiant le nombre des éléments; tout changement dans le régime qui produit les déviations normales est apte à servir de moyen de correspondance lorsqu'on est préalablement d'accord sur un vocabulaire, c'est-à-dire sur la corrélation du langage avec les déviations des galvanomètres.

Nous passons à la description de ces instruments, qui sont employés aussi à la transmission ordinaire pour l'exploitation du câble: l'obligation de ne travailler qu'avec les courants les plus faibles ne permet pas l'emploi des appareils fondés sur la propriété des électro-aimants.

Le principe du *galvanomètre à miroir* est cette règle d'optique, que si un miroir tourne autour d'un axe le rayon réfléchi décrit un angle double de celui du miroir.

L'instrument représenté *fig. 126* est destiné à être placé à bord.



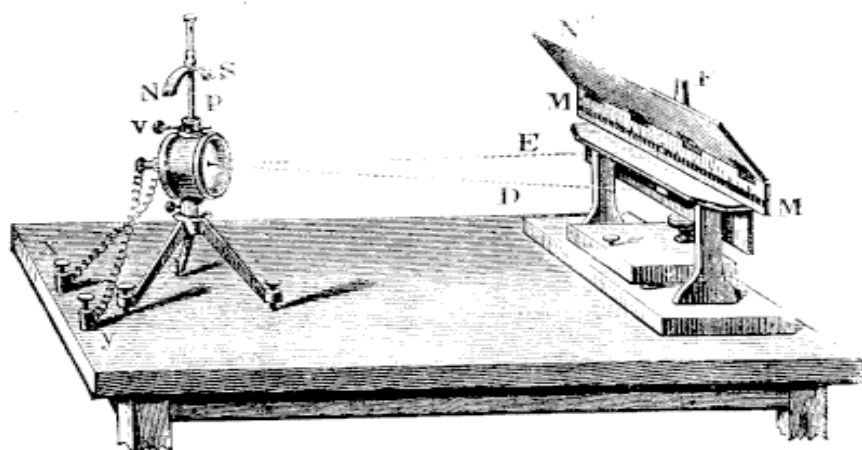
Il comprend une grosse bobine de fil recouvert AB que traverse le courant; au centre est suspendu, par un fil de soie, un petit barreau aimanté très-léger *a*, portant sur une de ses faces un petit miroir: l'aimant et le miroir ensemble pèsent 1 décigramme.

En face du galvanomètre, et à une distance d'environ 0^m.60, est placée une échelle graduée PQ, dont chaque division est d'environ 1/2 millimètre. Le zéro occupe le centre de l'échelle; au-dessous se trouve une flamme fournie par une lampe, dont la lumière traverse une lentille et revient, en traversant de nouveau la lentille, marquer son image sur l'échelle. La force directrice est due à un gros aimant SN qui entoure les bobines. Lorsque aucun courant ne passe dans l'appareil, l'image de la flamme occupe le centre de l'échelle: si un courant traverse le cadre AB, il fait mouvoir l'aimant *a*: l'image se déplace et vient recouvrir une des divisions marquées sur l'échelle. Cet instrument, en raison de la faible masse de l'aimant et à cause de l'écart produit sur l'échelle par la plus faible inclinaison du miroir, est un des plus sensibles qu'on puisse imaginer. L'attention qu'il faut apporter pour suivre, dans une chambre obscure,

les déviations rapides du rayon lumineux cause une fatigue réelle aux employés : la durée du service continu ne peut pas dépasser une heure.

Nous donnons *fig. 127* le dessin de l'appareil placé à terre ; il ne diffère du précédent que par le mode de suspension de l'aimant.

Fig. 127.



Il y aurait à dire beaucoup sur les dispositions adoptées dans les postes télégraphiques pour protéger le câble et les appareils contre la foudre et les courants terrestres, pour activer la transmission en facilitant la *décharge* entre deux émissions successives, etc. Ce sont là des détails techniques qui sortent de notre cadre.

Après avoir passé en revue les tentatives qui ont abouti à l'établissement d'une communication électrique entre l'Europe et l'Amérique, nous indiquerons brièvement les progrès récents de la nouvelle industrie télégraphique.

On peut dire aujourd'hui que le réseau sous-marin réunit toutes les parties du monde. L'Angleterre est reliée à la Chine et à l'Australie par une série de câbles partant de la côte britannique, desservant en passant l'Espagne, le Portugal, Gibraltar, Malte, l'Égypte, Aden, les Indes, Penang, Singapore, Java, l'Australie, la Cochinchine française et finissant par Hong-Kong. Puis viennent des embranchements de Malte sur l'Algérie et Marseille, des lignes dans l'Archipel grec et entre les îles de l'Asie Mineure. En Europe, une série de câbles directs fonctionnent entre l'Angleterre, la France, la Belgique, la Hollande, le Danemark, la Suède, la Norvège et la Russie. L'Angleterre est réunie directement aussi à l'Allemagne. En Asie,

L'Océan est sillonné entre la côte russe et le Japon, Shanghai, Amoy et Hong-Kong. Une société française a posé en 1869 et 1873 deux nouveaux conducteurs entre l'Europe et l'Amérique : cette compagnie a, depuis la dernière date, fusionné avec la société anglaise. Une grande ligne exclusivement terrestre, excepté dans la traversée de la mer Noire, construite par la compagnie Indo-European Telegraph, met la Russie en communication avec l'Inde, en traversant la Perse, ouvrant ainsi un second débouché avec l'Orient. Le groupe de l'Archipel des Antilles est rattaché aux États-Unis par Cuba ; les communications sont prolongées jusqu'à l'isthme de Panama d'un côté, et la Guyane anglaise de l'autre. Citons enfin la compagnie Brazilian-Submarine, qui vient d'achever heureusement la pose d'un câble entre l'Europe et le Brésil par l'intermédiaire du Portugal, de Madère et de Saint-Vincent. Déjà le Brésil était relié à Cayenne ; lorsque la Guyane anglaise et la Guyane française seront rattachées entre elles, un cercle complet enserrera l'Atlantique.

Dans les entreprises que nous venons de rappeler, l'Angleterre s'est créé un véritable monopole. Il est juste cependant de rappeler que la France a eu une part dans les efforts persévérants qui ont amené le succès. La jonction de la France et de l'Algérie a préoccupé, depuis 1854, l'Administration française.

Depuis l'établissement d'un câble à six conducteurs et armé de douze fils de fer, entre la Spezzia et la Corse, puis entre la Corse et la Sardaigne, un grand nombre de tentatives ont été faites pour arriver à relier directement la France à l'Algérie. On y a réussi, et la colonie est aujourd'hui rattachée à la métropole par deux communications, dont l'une directe.

En terminant cette étude, nous indiquerons les faits acquis à la pratique sur la durée probable des câbles. Cette question intéresse les ingénieurs et les capitalistes. Feu M. Robert Stephenson exprimant son opinion personnelle au début de la télégraphie sous-marine, voulait que chaque compagnie, propriétaire d'un câble, fût en mesure de le renouveler au bout de huit ans. Quelques câbles ont dépassé cette limite ; celui de la Corse à la Spezzia, posé en 1854, ne manqua qu'au bout de douze ans ; il n'a été ni réparé ni repêché. Le câble de Calais à Douvres a été souvent réparé et remplacé ; celui du golfe Persique, posé en 1864, a été réparé aux endroits où il touchait des fonds de rochers, il fonctionne encore parfaitement. Le câble d'Alexandrie à Malte, posé en 1868, n'a jamais été interrompu.

On pourrait citer des câbles plus courts qui ont duré de dix à quinze ans.

Le câble transatlantique de 1865 est rompu depuis le 41 mars 1873; un essai de réparation a été tenté en 1873 par le *Great-Eastern*, mais vainement. Cette tentative a coûté 70.000 livres sterling. Il semble que dans l'opinion des directeurs de la Compagnie le relèvement ne mérite plus d'être tenté; si l'on se place à ce point de vue, la durée d'un câble transatlantique se rapprocherait de l'estimation de M. Stephenson. L'année dernière, l'occasion s'est présentée de vérifier la résistance à la rupture d'une portion du câble de 1865. Il a été relevé près de Terre-Neuve par 4.000 brasses de profondeur. On a trouvé une diminution de 30 p. 400 dans cette résistance. Il faut aussi tenir compte d'un autre élément dans les calculs établis en vue de prévoir les dividendes qui reviendront aux actionnaires. La nature du terrain sur lequel repose le câble a un effet direct sur l'enveloppe externe. Des portions d'un câble posé en 1860 entre la France et l'Algérie, et repêchées en 1871 à Minorque par une profondeur de 400 brasses, ont été trouvées complètement détériorées; le revêtement extérieur en acier et chanvre était semblable à celui du câble transatlantique. Le fond était vaseux et uni.

Le câble de Gibraltar à Falmouth, posé en 1870 et réparé en 1874, a été trouvé éraillé à une profondeur de 4.000 brasses. Le câble direct espagnol fit défaut subitement dans la baie de Biscaye; il était enseveli sur une longueur d'un mille à une profondeur de 1.300 brasses comme s'il avait reçu le contre-coup d'une action volcanique. Le fond était recouvert d'une marne bleuâtre (*). On a constaté une autre cause d'altération sur les câbles méditerranéens et de la Manche. La gutta-percha a été trouvée à plusieurs reprises percée de part en part par le travail d'un petit animal, du nom de *teredo*, qui pénètre par les interstices laissés entre les fils de l'armature extérieure. Le remède à ce danger paraît être dans l'adoption d'une armature mince d'acier continue; cette question, qui préoccupe beaucoup nos voisins, est à l'étude.

(*) On sait que toutes les relations s'accordent à attester la nature volcanique des fonds dans ces parages.

STATISTIQUE.

Le nombre des câbles posés au fond des océans depuis 1850 jusqu'à la fin de 1874, atteint le chiffre de 191 représentant ensemble une longueur de 50.716 milles (20.350 lieues) : sur ces 191 câbles, 61 ont cessé de fonctionner, 145 marchent régulièrement. Les deux puissances qui possèdent le plus de câbles sont l'Angleterre et la France : la première en compte 29, la seconde 16 : sept câbles réunissent l'Angleterre et la France. Nous donnons ci-dessous le nombre des câbles posés, chaque année, de 1850 à 1874 :

ANNÉE.	NOMBRE.	ANNÉE.	NOMBRE.	ANNÉE.	NOMBRE.	ANNÉE.	NOMBRE.
1850	1	1857	3	1864	6	1871	26
1851	1	1858	5	1865	3	1872	2
1852	4	1859	13	1866	10	1873	11
1853	4	1860	12	1867	7	1874	13
1854	7	1861	1	1868	2		
1855	9	1862	2	1869	17		
1856	1	1863	1	1870	27		

De ces câbles, les plus longs sont : celui d'Irlande à New-Ffoundland qui a 1.896 milles ; celui de Valentia au même point, qui a 1.900 milles ; celui de Saint-Vincent à Pernambuco, qui a 1.953 milles, et celui de Brest à Saint-Pierre, qui a 2.584 milles.

Les plus grandes profondeurs auxquelles aient été immergés les câbles sont 2.000 brasses pour celui de Malte à Alexandrie, 2.424 brasses pour celui de Port-Keurno, en Angleterre, à Lisbonne, 2.760 pour celui de Brest à Saint-Pierre.

Aucun câble d'une longueur supérieure à 350 milles n'a pu être immergé avec succès, ainsi qu'on l'a dit, avant 1858, époque à laquelle le premier câble transatlantique fut posé.

Ce n'est qu'en 1870 et 1871 que les communications directes furent établies entre l'Angleterre, l'Inde, Singapour, Batavia, la Chine, le Japon et l'Australie. Aujourd'hui, à trois ans de distance, il s'en faut d'un seul câble dans le Pacifique pour que la ceinture du monde soit

complète, et que le rêve de M. Field, qui avait dès 1870 présenté un mémoire au Congrès à ce sujet, soit réalisé.

Quand ce câble du Pacifique sera submergé, la longueur de la ligne télégraphique continue, ainsi complétée, sera de 5.573 milles (2.269 lieues); elle se divisera en trois sections, savoir : San Francisco à Honolulu, 2.093 milles; de Honolulu à Midway-Island, 1.220 milles et de ce dernier point à Yokohama, 2.260 milles.

Onze autres nouveaux câbles sont projetés : leur longueur totale serait de 17.144 milles, soit 6.890 lieues. Les plus longs de ces câbles sont ceux d'Irlande à la Nouvelle-Écosse, 2.200 milles; d'Aden à l'île Maurice, de 2.800 milles; d'Honolulu aux îles Fidji, 2.900 milles; quand ces câbles seront terminés, il n'y aura plus un seul point du monde qui ne soit relié par des fils électriques.

Le prix de l'installation des câbles sous-marins dépend à la fois de la profondeur à laquelle ils doivent être immergés et de la nature du fond sur lesquels ils doivent reposer.

Le prix moyen de revient des câbles de l'*Anglo-American Company* est de 300 livres sterling (7.500 fr.) par mille, pour les portions qui sont dans les eaux profondes, et de 1.000 livres sterling (25.000 fr.) pour celles qui touchent au rivage. Les câbles de l'Angleterre à la Hollande sont construits, dans presque toute leur longueur, sur le modèle des extrémités des câbles transatlantiques, en raison de la petite profondeur d'eau, qui ne dépasse pas trente brasses, et leur prix moyen par mille est, par suite, beaucoup plus considérable.

Les principales compagnies de télégraphie sous-marines sont au nombre de seize; leur capital total s'élève à 20.208.000 livres sterling, plus de 505 millions de francs. Les premières de ces compagnies sont l'*Anglo-American Company*, qui possède cinq câbles et dont le capital se chiffre par 7 millions de livres; l'*Eastern sub-marine Telegraph Company* avec 3 millions de livres de capital; la *West India and Panama Telegraph Company* avec 1.900.000 livres; l'*Eastern extension Australian and China sub-marine Telegraph Company* avec un capital de 1.663.100 livres, et enfin le *Western and Brazilian Telegraph Company* avec 1.350.000 livres (*).

(*) Extrait du journal *Of applied science*.

CHAPITRE X.

APPLICATIONS DU TÉLÉGRAPHE.

Le télégraphe prend chaque jour une importance plus considérable; dans l'impossibilité d'énumérer ici toutes les applications qui en sont faites, nous nous bornerons à quelques-unes des moins connues. Nous indiquerons successivement les usages, dans la *météorologie*, dans *l'art de la guerre*, et nous terminerons cette relation par la mention des procédés télégraphiques employés pendant le *siège de Paris*.

MÉTÉOROLOGIE.

M. Marié-Davy, dans son savant ouvrage (*), traite avec de grands développements cette question de l'application du télégraphe à la météorologie; nous en donnerons ici un court aperçu :

Dès la seconde moitié du siècle dernier, des observations régulières avaient été, dit-il, instituées en des points nombreux de l'Europe et notamment en France. Deux notes renfermées dans le 3^e volume des Œuvres de Lavoisier méritent d'être rappelées.

Dans la première, Lavoisier expose que les observations de Borda sur la possibilité de prédire le temps l'ayant frappé par leur importance, il s'entendit avec lui et plusieurs savants, pour établir des baromètres comparables en plusieurs points de la France, de l'Europe et même de l'univers. Un grand nombre de ces instru-

(*) *Des Mouvements de l'atmosphère*, par M. Marié-Davy. — Paris, 1866, Victor Masson, éditeur.

ments furent distribués par Lavoisier, et se trouvaient encore dans quelques châteaux, il y a peu d'années.

Lavoisier reproduit dans la seconde note les règles pour prédire le temps, et il conclut en ces termes : « La prédiction des changements qui doivent arriver au temps est un art qui a ses principes et ses règles, et qui exige une grande expérience et l'attention d'un physicien très-exercé. Les données nécessaires pour cet art sont : l'observation habituelle et journalière des variations de la hauteur du mercure dans le baromètre, la force et la direction des vents à différentes élévations, l'état hygrométrique de l'air.

« Avec toutes ces données, il est presque toujours possible de prévoir un jour ou deux d'avance, avec une très-grande probabilité, le temps qu'il doit faire; on pense même qu'il ne serait pas impossible de publier tous les matins un journal de prédictions qui serait d'une très-grande utilité pour la société. »

A l'époque où Lavoisier procédait à cette organisation, il ne pouvait user d'aucun des moyens de communication rapide mis à notre disposition. Ses idées cependant avaient assez frappé l'opinion publique pour que, quelques années après, en 1793, Romme, député à la Constituante, chargé, ainsi que nous l'avons vu, de présenter à cette assemblée un rapport sur le télégraphe aérien de Chappe, n'oubliât pas de mentionner au nombre des avantages présentés par la nouvelle institution, la possibilité pour les physiciens de prévoir l'arrivée des tempêtes et d'en donner avis aux ports et aux cultivateurs.

Bulletin international de l'Observatoire.

Cinquante ans après, H. Piddington appela de nouveau l'attention sur ce point. Dans un mémoire, publié en 1842, il montra les avantages que la navigation pourrait retirer de l'emploi du télégraphe pour donner avis aux ports de l'approche des ouragans.

En 1852, les fondateurs de la Société météorologique de France écrivaient dans leur circulaire aux physiciens : « Avant peu l'Europe entière sera sillonnée de fils métalliques, qui feront disparaître les distances et permettront de signaler les phénomènes atmosphériques à mesure qu'ils se produiront, et d'en prévoir ainsi les conséquences les plus éloignées. »

En 1855, cette idée entra définitivement dans la pratique.

M. Le Verrier, répondant à M. Matteucci, rappelait l'ouragan qui, le 44 novembre 1854, causa de si nombreux sinistres dans la mer Noire et amena la perte du vaisseau *le Henri IV*. Le même jour, ou à un jour d'intervalle, suivant les localités, des coups de vents éclatèrent dans l'Ouest de l'Europe, sur l'Autriche et sur l'Algérie. Le phénomène semblait donc s'être étendu sur une immense surface.

Sur l'invitation du maréchal Vaillant, M. Le Verrier adressa une circulaire aux astronomes et aux météorologistes de tous les pays, en les priant de lui transmettre les renseignements qu'ils auraient pu recueillir sur l'état de l'atmosphère pendant les journées des 12, 13, 14, 15 et 16 novembre 1854. En réponse à cette circulaire, l'Observatoire reçut plus de 250 envois de documents.

Le 16 février 1855, M. Le Verrier soumit à l'Empereur le projet d'un vaste réseau de météorologie, destiné à avertir les marins de l'arrivée des tempêtes. Ce projet fut exécuté avec le concours de l'Administration des lignes télégraphiques. Deux jours après, 19 février 1855, l'Académie reçut une carte de l'état atmosphérique de la France, le jour même à 10 heures du matin.

Les bureaux de météorologie télégraphique s'installèrent rapidement en France, l'organisation du réseau était terminée en 1856. En 1857, l'Observatoire de Paris recevait des observations de Bruxelles, Genève, Madrid, Rome, Turin, etc.

Le but de la nouvelle organisation est le suivant. Signaler un ouragan dès qu'il apparaîtra en un point de l'Europe; le suivre dans sa marche au moyen du télégraphe, et informer en temps utile les côtes qu'il pourra visiter. Pour atteindre ce but, il sera nécessaire d'employer toutes les ressources du réseau européen, et de faire converger les observations vers un centre principal d'où l'on puisse avertir les points menacés par la progression de la tempête.

Depuis 1863, l'Observatoire se trouve en relations télégraphiques journalières avec 59 stations météorologiques, réparties sur toute la surface de l'Europe. Les observations du thermomètre, du baromètre, de l'état du ciel et des vents, faites en ces diverses stations à 8 heures du matin sont expédiées à Paris et réunies à l'Observatoire généralement avant 11 heures du matin; quelques dépêches seulement se trouvent accidentellement en retard à cause de la distance ou de difficultés survenues dans les transmissions.

Ces observations, dont quelques-unes sont en langue étrangère ou

faites avec des instruments dont la graduation diffère de la graduation française, sont traduites et ramenées aux unités communes. Les hauteurs du baromètre sont de plus corrigées de la température et de l'élévation de chaque station au-dessus du niveau de la mer.

Les résultats traduits et corrigés sont publiés dans la première page d'un bulletin quotidien international dont nous donnons ci-après un spécimen.

Ces données sont chaque matin pointées sur une carte conformément aux conventions suivantes (*fig.* 128, p. 250).

En chaque station on décrit un très-petit cercle dont la circonférence est mince lorsque le ciel est beau; quand le ciel est nuageux on marque un point noir au centre du cercle; si le ciel est couvert on épaisit la circonférence du cercle; s'il pleut, le cercle est entièrement noir.

A partir du cercle, on mène une ligne dans la direction d'où vient le vent, et l'on garnit l'un des côtés de cette ligne de barbes croissant avec la force du vent, depuis zéro, correspondant à un vent très-faible, jusqu'à 6, correspondant à un vent violent.

A côté du même cercle on inscrit la pression barométrique observée, en supprimant le premier chiffre 7, pour ne pas surcharger la carte.

L'état de la mer est figuré par un groupe de points dont le nombre augmente avec le degré d'agitation, depuis 1, qui correspond au calme, jusqu'à 9, qui correspond à une mer furieuse.

La température est l'objet d'un examen à part.

Les documents étant ainsi transportés sur la carte, on trace des lignes d'égale pression barométrique en se guidant sur les chiffres inscrits près de chaque station. Ces lignes correspondent toujours à des pressions variant de 5 en 5 millimètres à partir de la pression 760, afin de rendre les comparaisons plus faciles d'une carte à l'autre.

On a reproduit sur la *fig.* 128 une portion de la carte synoptique du 15 novembre 1864, construite conformément aux conventions précédentes, à l'aide des documents de la page 244. Plusieurs des observations d'Espagne et d'Italie n'étaient pas parvenues en temps utile à cause de l'état de l'atmosphère; par contre, à cause de la nature de la perturbation manifestée le 15 novembre, on a ajouté

BULLETIN INTERNATIONAL DU 15 NOVEMBRE 1864.

État atmosphérique de l'Europe à 8 heures du matin.

STATIONS.	BAROM.	THERM.	VENTS INFÉRIEURS.	CIEL.	MER.	VENTS la veille, soir.
	millim.	degrés.				
Paris.	736,5	7,4	S. S. O. faible	Sombre.	"	S. O. assez fort.
Strasbourg. . . .	741,1	7,3	S. assez fort.	Nuageux.	"	"
Mézières.	737,2	9,5	S. O. faible.	Pluvieux.	"	"
Dunkerque. . . .	733,0	5,5	S. très-faible.	Nuageux.	Belle.	S. O. modéré.
Boulogne.	732,0	7,0	S. S. O. fort.	Pluvieux.	Agitée.	O. S. O. fort.
Le Havre.	733,9	10,0	S. S. O. très-fort.	Couvert.	Peu houleuse.	S. O. assez fort.
Cherbourg.	731,9	10,2	S. O. assez fort.	Pluie.	Peu agitée.	S. O. assez fort.
Brest.	733,9	10,6	N. O. fort.	Nuageux.	Houleuse.	O. S. O. fort.
Lorient.	733,6	11,8	O. coup de vent.	Pluie.	Très-grosse.	O. assez fort.
Napoléon-Vendée.	737,3	9,8	S. O. fort.	Couvert, pluie.	"	"
Rochefort.	738,4	9,6	O. assez fort.	Pluvieux.	Grosse.	O. assez fort.
Limoges.	743,4	5,9	S. E. faible.	Pluie.	"	"
Montauban. . . .	746,5	8,0	S. O. faible.	Convert.	"	"
Bordeaux.	742,8	10,3	O. impétueux.	Pluie.	"	O. très-fort.
Montpellier. . . .	747,9	8,9	S. O. faible.	Nuageux.	"	N. O. assez fort.
Cette.	"	"	O. S. O. modéré.	Nuageux.	Houleuse.	"
Marseille.	747,3	12,3	N. O. modéré.	Orageux.	Grosse.	N. E. modéré.
Toulon.	746,0	10,0	N. O. assez fort.	Convert.	Très-agitée.	S. S. O. fort.
Antibes.	"	"	O. fort.	Horizon nuageux.	Houleuse.	O. S. O. fort.
Avignon.	"	8,8	S. E. presque nul.	Brouillard.	"	N. E. assez fort.
Lyon.	748,8	9,7	S. O. assez fort.	Nuageux.	"	"
Besançon.	745,1	8,7	O. assez fort.	Convert.	"	"
Bruxelles.	735,0	8,0	S. faible.	Nuageux.	"	"
Greencastle. . . .	734,9	8,3	E. N. E. faible.	Nuageux.	Belle.	E. N. E. assez fort.
Penzance.	732,5	10,0	N. O. assez fort.	Nuageux sombre.	Houleuse.	O. N. O. fort.
Nairn.	736,7	6,7	E. assez fort.	Couvert, pluie.	Houleuse.	N. E. assez fort.
Greenwich.	731,1	5,1	Calme.	Peu nuageux.	"	"
Porto.	749,1	5,2	O. fort.	Couvert, pluie.	Agitée.	"
Barcelone.	743,8	13,3	O. très-fort.	Nuageux.	Houleuse.	"
Bilbao.	748,8	12,0	O. fort.	Convert.	Très-houleuse.	"
Turin.	753,6	5,5	S. O. faible.	Nuageux, brou.	"	"
Ancône.	745,6	12,9	S. O. faible.	Pluvieux.	Agitée.	S. S. E. faible.
Livourne.	744,3	13,5	O. S. O. fort.	Beau.	Tempête.	S. modéré.
Florence.	744,2	13,9	S. O. assez fort.	Couvert.	"	"
Vienne.	740,2	7,6	S. faible.	Très-nuageux.	"	"
Berne.	745,0	5,1	S. O. très-faible.	Nuageux.	"	E. presque nul.
Leipzig.	740,3	4,8	S. faible.	Pluvieux.	"	"
Le Helder.	733,5	3,0	S. S. O.	Nuageux.	Un peu agitée.	"
Groningue.	734,4	4,9	S. E. presque nul.	Convert.	"	"
Stockholm.	741,3	1,4	E. N. E. faible.	Convert, brouill.	"	"
Hernösand.	742,6	0,5	E. faible.	Convert, neige.	"	"
Haparanda.	744,1	4,2	N. E. faible.	Couvert.	"	"
Skudesnøds. . . .	737,5	5,2	E. assez fort.	Nuageux.	Ordinaire.	E. assez fort.
Petersbourg. . . .	744,6	0,1	S. O. faible.	Couvert.	"	"
Moscou.	750,5	1,3	Calme.	Nuageux.	"	"
Helsingfors. . . .	738,9	1,4	Calme.	Couvert.	"	"
Libau.	739,5	2,5	E. faible.	Pluie.	"	"
Riga.	741,7	1,3	S. E. faible.	Couvert, broueux.	"	"

aux observations d'Angleterre, venues par télégraphe, d'autres observations tirées du bulletin de l'amiral Fitz-Roy.

La carte synoptique de chaque jour est insérée au bulletin à la suite des observations qui ont servi à l'établir: elle forme la base du travail de discussion effectué quotidiennement à l'Observatoire sur l'état présent de l'atmosphère en Europe, et sur les changements qui s'y produisent ou s'y préparent. Le résumé de la situation est publié au bas de la carte, et un abrégé en est expédié par télégraphe aux ports de France et aux directions des divers services météorologiques de l'étranger. Cet abrégé est en outre accompagné d'appréciations sur le temps probable du lendemain, ou de ce que l'on nomme la *prévision du temps*.

La prévision du temps.

La discussion des éléments fournis par le bulletin journalier et les registres de bord rapportés par les marins ont conduit M. Marié-Davy à cette conclusion: les changements de l'état de l'atmosphère dans une région déterminée de l'Europe sont le résultat direct des déplacements du lit d'un grand courant aérien venu de l'Atlantique, et du passage des mouvements tournants qui s'y produisent.

Le problème de la prévision du temps consiste dès lors à épier ces déplacements, à saisir les premiers signes de l'arrivée de chaque mouvement tournant, à déterminer l'étendue et l'intensité du météore, la distance à laquelle il doit passer de la région considérée, la direction qu'il doit suivre, la vitesse avec laquelle il se transporte. Là s'arrête, pour le moment, le pouvoir de la science du temps.

Pour perfectionner cette science il faudra, dans les cartes embrassant l'Europe et l'Atlantique, comprendre l'Amérique, puis l'Océan Pacifique et enfin l'Asie. Dès maintenant des dépêches télégraphiques, venues de l'Amérique ou de Sibérie, nous permettraient de prévoir huit ou dix jours à l'avance les grands changements du temps: la prévision des détails sera nécessairement toujours plus limitée à cause de l'ignorance des perturbations locales.

Nous terminerons ces indications par quelques détails sur le service des avertissements, en distinguant ceux qui s'adressent aux marins et ceux qui regardent les cultivateurs.

Service des ports. — Le service des avertissements aux ports était

à peine organisé lorsqu'un violent ouragan vint en démontrer l'efficacité.

Le 28 novembre 1863, le *Bulletin international* annonçait la situation atmosphérique comme très-douteuse; le 1^{er} décembre, il signalait l'arrivée d'un tourbillon sur le nord-ouest de l'Angleterre. La tempête semblait devoir s'étendre à toute la France. Le 1^{er}, à midi, tous les ports de l'Océan furent avertis; le 2, à 11 heures 30, les ports de la Méditerranée, déjà prévenus la veille, sont informés qu'ils sont fortement menacés. Madrid et Turin reçoivent des avertissements analogues concernant les côtes catalanes et celles du golfe de Gènes. Ces avis sont renouvelés à 1 heure 30 pour les côtes de Civita-Vecchia à Palerme.

« J'ai reçu dans la journée du 2, écrivait à M. Le Verrier le président de la chambre de commerce de Toulon, les deux dépêches annonçant qu'une tempête allait envahir la France. Elles ont été publiées et affichées sur l'heure, et les navires de commerce présents sur la rade ont pu prendre et ont pris immédiatement les mesures nécessaires pour parer à toute éventualité. La préfecture maritime, de son côté, ordonnait à tous les officiers à terre de regagner leur bord. La tempête s'est déchaînée vers trois heures et demie de l'après-midi. Le télégramme du 2, confirmant celui de la veille, avait donc gagné quatre heures d'avance sur la tempête, et tout était prêt pour y faire face. Il n'y a eu, grâce aux précautions prises, aucune avarie, aucun sinistre à déplorer.

« Hier, 3 décembre, le jour s'est levé dans une atmosphère chaude et calme, les probabilités indiquées pour la tempête du 3 par la dépêche du 2 indiquaient des rafales de S.-O. ou de N.-O. C'était un démenti apparent donné par le temps à vos prévisions; mais avant quatre heures du soir les rafales du N.-O. se sont déchaînées, elles ont soufflé toute la nuit du 3 au 4; elles durent encore. »

La note suivante était publiée le 3 dans le *Journal de Gènes* : « Le présage de l'Observatoire de Paris s'est complètement réalisé. Les premiers signes de l'ouragan se sont fait sentir hier, vers 7 heures et demie du soir; dans la nuit, il s'est déchaîné furieux; il ne paraît pas toutefois que des sinistres aient eu lieu dans nos parages. Le commandant du port s'est hâté de prendre les mesures opportunes, et nous n'avons eu qu'à nous en louer. »

Le nombre de ces sinistres fut considérable dans la Manche et sur les côtes de la Bretagne. Dans la nuit du 1^{er} au 2, dans le port de

Camaret, situé dans le goulet de Brest, treize navires ont été jetés à la côte, plusieurs autres ont résisté sur leurs ancres en sacrifiant leur mâture. A cette époque, le port de Camaret ne recevait pas encore les avertissements émanés de l'Observatoire. Relativement à la direction du vent qui battait généralement en côté, les précautions étaient plus difficiles à prendre. En dehors de Camaret et de plusieurs petits ports non prévenus, les sinistres ont particulièrement porté sur les navires venus de la haute mer. D'après une lettre de M. le président de la chambre de commerce de Brest, « le 30 novembre les marins se sont bien gardés de quitter le port, malgré la belle apparence du temps. »

Service agricole. — La première demande adressée à l'Observatoire pour en obtenir des renseignements sur l'état de l'atmosphère au point de vue des intérêts agricoles, lui fut adressée par une association de grands propriétaires du Mecklembourg. Du 31 août au 15 septembre 1863, une dépêche télégraphique indiquant les changements que les cartes synoptiques nous faisaient entrevoir dans l'état du ciel, fut expédiée chaque jour au président de l'association. Cet essai d'application de la météorologie télégraphique à la conduite des opérations agricoles a été renouvelé en France en 1865.

Les besoins de l'agriculture sont tout autres que ceux de la marine; pour celle-ci, la forme et la direction du vent sont les points essentiels, l'état du ciel est secondaire; pour l'agriculture, au contraire, l'état du ciel est le point capital. Les récoltes ne redoutent guère les tourmentes de l'hiver; mais les allures du grand courant équatorial peuvent exercer sur elle une assez fâcheuse influence. Si le courant se rapproche trop près de nos côtes sur l'Atlantique, s'il se prolonge trop avant dans l'Est et avec une persistance trop durable, l'hiver est doux et pluvieux; s'il remonte trop dans le nord, l'hiver est sec et froid; s'il reste dans une position intermédiaire et que des bourrasques descendues du nord traversent l'Europe moyenne, la terre se couvre, le sol s'imprègne d'eau, les sources s'avivent, les animaux nuisibles disparaissent.

Le printemps est une saison critique, particulièrement dans les premiers jours de mai. Un été trop sec est défavorable à la plupart des produits du sol; un été trop pluvieux est encore plus fâcheux. Dans cette saison, comme dans l'hiver, le courant équatorial ne doit être ni trop près ni trop loin de nous, car c'est lui qui dispense les pluies sur son parcours.

Tant qu'une récolte est pendante, le cultivateur subit le temps d'une manière passive, à de rares exceptions près; mais à l'époque des labours et des semailles, et particulièrement lorsque les fruits de la terre sont prêts à être recueillis, l'avis des changements du temps, de l'arrivée des beaux jours et des pluies, et surtout de l'approche des orages, peut être pour lui d'une incontestable utilité.

Mais ces avis, pour être efficaces, doivent pénétrer jusque dans les moindres hameaux; ils doivent être assez clairs et assez simples, non pour indiquer aux cultivateurs ce qu'ils doivent faire, mais pour aider à leur expérience des signes du temps, et pour mieux asseoir leur jugement en en élargissant la base; enfin, ils doivent gagner assez d'avance sur le temps réel pour parvenir utilement aux intéressés, soit qu'ils aient à se mettre en garde, soit qu'ils aient à choisir l'époque la plus favorable pour entreprendre des travaux de quelque durée.

Au service des avertissements météorologiques se rattache un service aussi essentiel, celui de l'annonce des crues des cours d'eau. Deux ingénieurs, M. de Mardigny, ingénieur en chef du département de la Meuse, et M. Poincaré, ingénieur ordinaire de la navigation dans le même département, ont les premiers tenté d'entrer dans cette voie.

Depuis plusieurs années, cette étude a été continuée, et l'on peut aujourd'hui avertir les riverains menacés par l'inondation. La commission hydrométrique du Rhône et de la Saône, présidée par M. Fournet, est arrivée sur cette question d'un grand intérêt à des résultats remarquables; nous citerons encore les travaux de M. Belgrand sur les cours d'eau du nord et du nord-ouest de la France.

Caractères généraux des tempêtes d'Europe.

La carte du 15 novembre 1864, reproduite *fig.* 128, donne une idée assez exacte du caractère de la plupart des perturbations atmosphériques de l'Europe.

En examinant d'abord les hauteurs du baromètre, on trouve une baisse très-prononcée en Angleterre, où la pression est descendue à 729 millimètres à Holyhead et Pembroke; le minimum est situé dans le voisinage de Shrewsbury. Autour de ce point, les pressions montent graduellement à mesure qu'on s'éloigne; la courbe 730 l'enveloppe d'un cercle presque régulier; un peu plus loin, se trouve

la courbe 735 notablement déformée vers le nord-est, sens dans lequel se propage la tourmente; encore plus loin, nous rencontrons la courbe 740 qui est incomplète du côté de l'Océan où les documents faisaient défaut; enfin, une ligne 745 longe le nord de l'Espagne, traverse le midi de la France, contourne le plateau central et le grand massif des Alpes, pénètre dans le golfe de Gènes et du Lion, traverse l'Italie centrale, le bassin du Danube, et se relève sur la Russie, où elle passe à l'ouest de Moscou et très-près de Saint-Pétersbourg.

La direction des vents n'est pas moins remarquable: ils soufflent de l'est assez fort à Skudesnoës (Norwége) et à Naïrn (Écosse), du nord-est faible à Leith et Ardrossan (Écosse), du nord-nord-ouest fort à Valentia (Irlande), du nord-ouest fort à Penzance (Angleterre) et à Brest, de l'ouest très-fort sur les côtes ouest de France et sur l'Espagne, du sud-ouest assez fort à Cherbourg, du sud-sud-ouest très-fort au Havre et fort à Boulogne, du sud-est faible à Groningue. Le tour du compas est complet.

Au centre du mouvement tournant, le ciel est beau ou peu nuageux; mais cet état n'est pas permanent, et de grandes averses y succèdent brusquement à un ciel sans nuages. Le rayon du disque tournant s'étend à plus de 400 lieues du centre. Le vent est à son maximum d'intensité sur les côtes ouest de France et généralement sur le demi-cercle méridional; s'il faiblit dans les parties centrales de la France à cause des frottements, il y conserve sa vitesse dans la région plus libre occupée par les nuages; il est, au contraire, très-faible au centre du mouvement et généralement dans le demi-cercle nord; il est cependant assez fort de l'est à Naïrn, en Écosse, et à Skudesnoës, en Norwége.

Le lendemain, 16 novembre, le centre de ce mouvement se trouvait transporté sur le midi de la Suède, à 250 lieues environ de la position occupée la veille à la même heure. Son mouvement de translation a donc été de 10 ou 11 lieues à l'heure. Cette vitesse explique la faiblesse des vents d'est dans le demi-cercle supérieur, et les vents de Naïrn et de Skudesnoës pourraient bien être dus à ce que le tourbillon se trouvait le 15, à huit heures du matin, très-près du point où sa trajectoire, marquée par une suite de points croisés, devait subir un brusque changement dans sa direction.

Si nous retournons en arrière, nous pourrions voir que la tempête, dont nous avons indiqué sur la carte la portion du 15 no-

vembre, s'annonçait dès le 12 du même mois. M. Marié-Davy écrivait, en effet, dans le *Bulletin* du 12, le résumé suivant : « C'est
« aujourd'hui sur le sud-ouest de l'Irlande que la baisse barométrique fait les plus rapides progrès ; la pression est descendue, à Valentia, de 760 à 749, tandis qu'elle a commencé de se relever sur
« l'Espagne, ainsi qu'à Haparanda (au fond du golfe de Bothnie).

Fig. 128.

CARTE MÉTÉOROLOGIQUE DU 15 NOVEMBRE 1864.



« Les bourrasques du nord, après avoir, pendant une assez longue
« série de jours, traversé l'Atlantique, vers les parages de l'Islande,
« pour sévir sur la Baltique et le golfe de Finlande, s'abaissent vers
« le sud et menacent aujourd'hui l'Angleterre et les côtes nord-
« ouest de la France.

« Si les bourrasques du sud ont éprouvé un semblable mouvement vers le midi, les côtes d'Afrique subiront, à leur tour, l'influence du mauvais temps. »

Pendant les derniers jours du mois d'octobre et les onze premiers jours du mois de novembre, les trajectoires des tourmentes s'étaient établies sur les régions du nord de l'Europe, et, comme il arrive

Fig. 129.

CARTE MÉTÉOROLOGIQUE DU 18 NOVEMBRE 1864.



le 12. La ligne supérieure du parcours des tourmentes s'abaissait au niveau de l'Angleterre, et pendant un intervalle de quinze ou dix-huit jours, cinq ou six tempêtes successives devaient sévir sur nos côtes.

La première tempête disparaissait à peine dans le nord-est, qu'une seconde arrivait sur l'Irlande, à une latitude un peu plus élevée que la précédente. La *fig.* 129 représente la nature de cette seconde tempête et sa position le vendredi 18 novembre. Nous retrouvons encore une dépression circulaire dont le centre est enveloppé, comme dans le cas précédent, par une courbe continue correspondant à la pression 730 millimètres, et par une série d'autres courbes correspondant à des pressions croissantes de 5 en 5 millimètres. Les trois premières sont complètes, les autres sont ouvertes vers l'Océan, où l'absence de documents a empêché de les prolonger. Nous retrouvons également la même tendance des vents à tourner autour du centre de dépression barométrique, en restant généralement faibles vers le centre et prenant de la force à mesure qu'ils s'en éloignaient vers le midi, jusqu'à une distance considérable.

LA TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE.

Les ressources de la télégraphie sont fréquemment utilisées aux armées; toutes les puissances ont admis dans leur organisation militaire un corps de télégraphistes. En marche comme en station, on a le plus grand intérêt à relier les corps de troupe avec le commandement; il est utile aussi de rattacher le quartier général au territoire national. De là des services de première et deuxième ligne, pourvus d'un matériel spécial et pouvant se déplacer avec la plus grande rapidité possible. On emploie, suivant les distances à desservir, le télégraphe *électrique* ou le télégraphe *optique*.

Le Télégraphe électrique.

Nous dirons peu de choses du télégraphe électrique. Les procédés de construction des lignes et d'installation des postes ne diffèrent de ceux qui ont été énumérés qu'en ce que le matériel devenant mobile, on s'attache à le rendre très-léger.

Les lignes peuvent être établies en fil nu ou en fil recouvert. Dans

le premier cas on le dispose sur des appuis plantés de distance en distance; nous citerons, parmi les types divers qui ont été adoptés, un modèle dû à M. Lemasson et qui se compose de perches en fer emboîtées l'une dans l'autre, comme dans la canne à pêche.

Un poteau à 3 sections est composé de 3 tubes cylindriques dont les diamètres sont respectivement, de :

40 millim.	pour la partie inférieure,
30	id. médiane,
22	id. supérieure.

Le poids est de 40 kilogrammes, le prix de 22 francs. Pour rendre facile la plantation, on a terminé la section inférieure par une pointe acérée. La section supérieure est munie d'isolateurs en ébonite; des colliers fixes en acier, à vis de pression, relient les diverses parties entre elles, et permettent de régler la hauteur de l'appui suivant les besoins. Outre qu'il présente l'avantage d'un transport facile, ce système de poteaux, sur un terrain exposé au feu de l'ennemi, permet d'établir la ligne à hauteur d'homme dans des conditions de sécurité assez bonnes; puis, la ligne construite, il suffit de soulever à la main les différentes sections de tubes et de les fixer au moyen du collier pour atteindre jusqu'à la hauteur de 6^m,40.

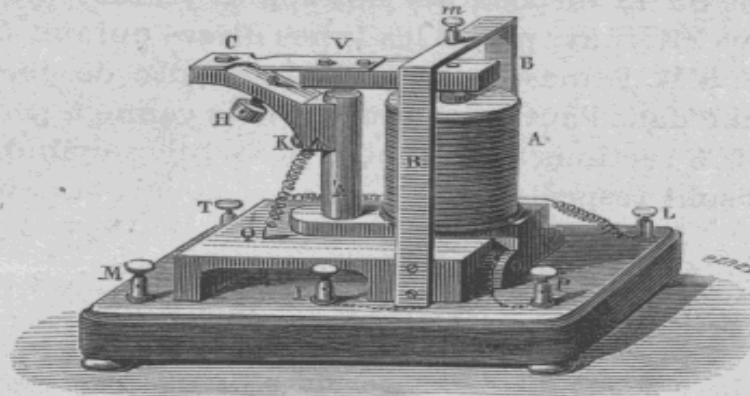
Lorsque les lignes sont formées de fil recouvert, les appuis peuvent être moins nombreux puisque l'isolement du conducteur n'est pas altéré par le contact avec le sol. Ce mode comporte une grande vitesse de manœuvre, le fil est enroulé sur des tambours et le développement se fait au moyen d'une brouette à main.

Les postes dans lesquels sont placés les appareils de transmission et de réception sont contenus dans des voitures qui suivent l'atelier de pose de la ligne.

Les appareils de transmission et de réception sont généralement empruntés au système Morse. On utilise même dans certains cas la *lecture au son*. Lorsque le levier du récepteur frappe sur les buttoirs qui limitent la course, il produit un son qui est différent suivant que le contact est long ou court, et qui permet aisément de distinguer si la durée correspond à un point ou à un trait.

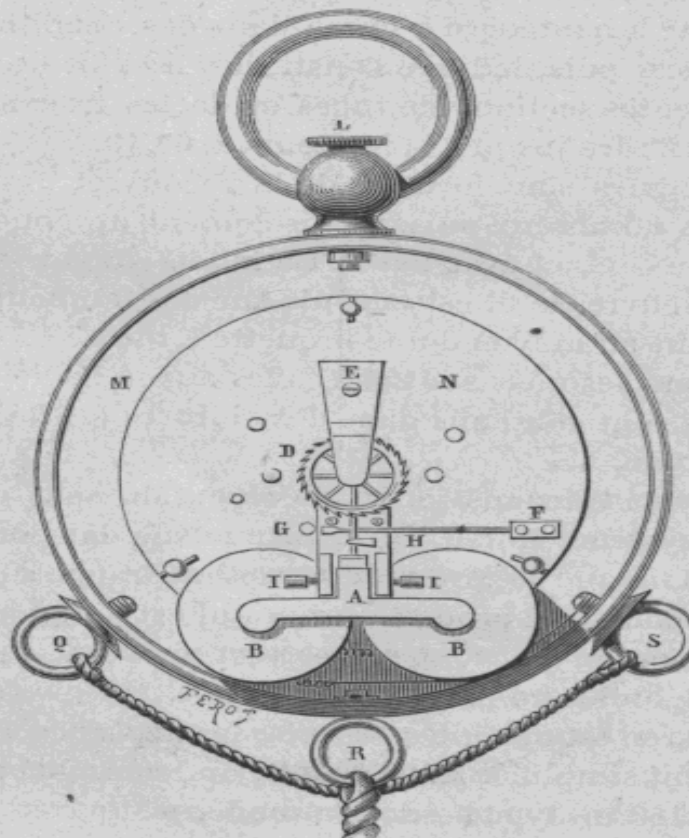
Quand l'appareil est destiné à recevoir les dépêches au son, il peut être notablement simplifié. Ainsi réduit, on le nomme *parleur*, nous indiquons *fig. 130* un type assez commode.

Fig. 130.



L'électro-aimant est formé d'une seule bobine, une pièce K est supportée par la branche libre A, elle porte une vis H et une lame d'acier fixée en C, qui soutient l'armature V. A l'aide de la vis H, on augmente ou l'on diminue l'élasticité de la lame qui remplace le ressort de rappel.

Fig. 131.



L'extrémité de l'armature oscille entre le fer de l'électro-aimant et la vis *m* supportée par le bâti BB', qui est monté lui-même sur une planchette vibrante Q destinée à renforcer le son.

Les services que peut rendre un tel instrument en campagne se conçoivent facilement, il permet en quelque sorte de réduire l'outillage du télégraphiste au bagage du philosophe.

Dans le même ordre d'idées, signalons les appareils de M. Trouvé.

Le manipulateur et le récepteur sont contenus dans une sorte de montre qu'il suffit de mettre dans la main pour l'échange des correspondances. C'est un télégraphe à cadran représenté en grandeur naturelle *fig. 131*.

Ce télégraphe fonctionne sous l'influence d'un mouvement de montre ordinaire, et par l'action d'un petit électro-aimant qui agit sur un échappement à déclanchement très-simple.

La fonction du manipulateur dans cet appareil consiste à faire osciller, à la manière de la godille des télégraphes ordinaires, un res-

Fig. 132.



sort dont l'extrémité se meut entre deux pointes de vis isolées, en rapport l'une avec la pile, l'autre avec la ligne; ce mouvement d'oscillation est produit par l'intermédiaire de cames et d'une sorte de clef de montre que l'on introduit dans un carré pratiqué sur l'axe de la roue à cames et qui peut la faire tourner dans un sens déterminé. Un ressort empêche le recul, de sorte que la manipulation, dans ce système, s'effectue comme l'opération par laquelle on remet une montre à l'heure.

Dans un perfectionnement récent, M. Trouvé a disposé sur un même cadran les deux aiguilles, comme on le voit *fig. 132* et a monté le manipulateur de façon à le faire fonctionner à la manière des montres à remontoir, c'est-à-dire en tournant un bouton moleté fixé sur l'anneau de la montre.

Les accessoires de cet appareil sont :

1° Une boîte à pile du système Marié-Davy qui se porte en sautoir, ou bien à la main, étant renfermée dans un étui de la dimension de ceux qui servent à contenir les aiguilles à coudre; il l'a disposée de manière qu'elle n'est chargée que lorsque l'étui est placé dans une position verticale.

Fig. 133.

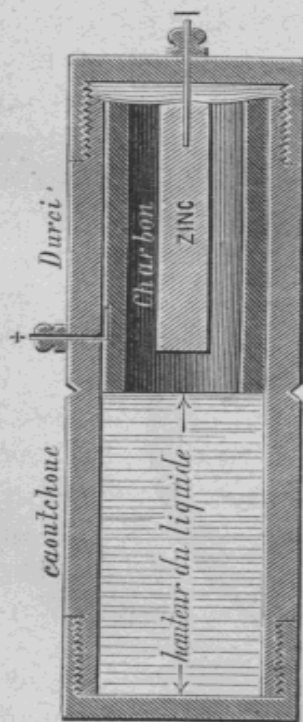
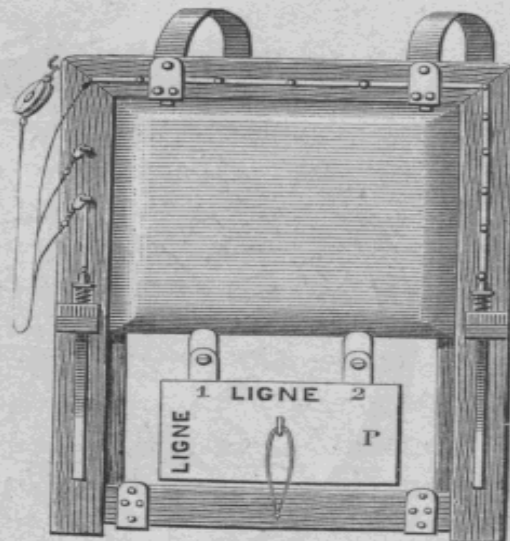


Fig. 134.



La *fig. 133* représente la coupe de grandeur naturelle d'un modèle de pile Trouvé. La boîte contient six éléments.

2° Un crochet en bois avec brassières pour être porté à dos d'homme, et sur lequel est disposée la bobine où sont enroulés les deux fils de transmission. Cette bobine pivote sur deux tourillons et peut facilement se prêter au déroulement ou à l'enroulement des fils; elle est représentée *fig. 134*.

Le Télégraphe optique.

Le rôle de la télégraphie électrique aux armées ne peut s'étendre à toutes les communications nécessaires. Dans l'action principalement ce système n'a pas la mobilité des estafettes, et l'on est généralement d'accord pour ne l'employer que pour des communications à la distance de 10 kilomètres environ. En deçà, la télégraphie *optique* peut rendre des services précieux. Il faut distinguer la télégraphie de jour et de nuit.

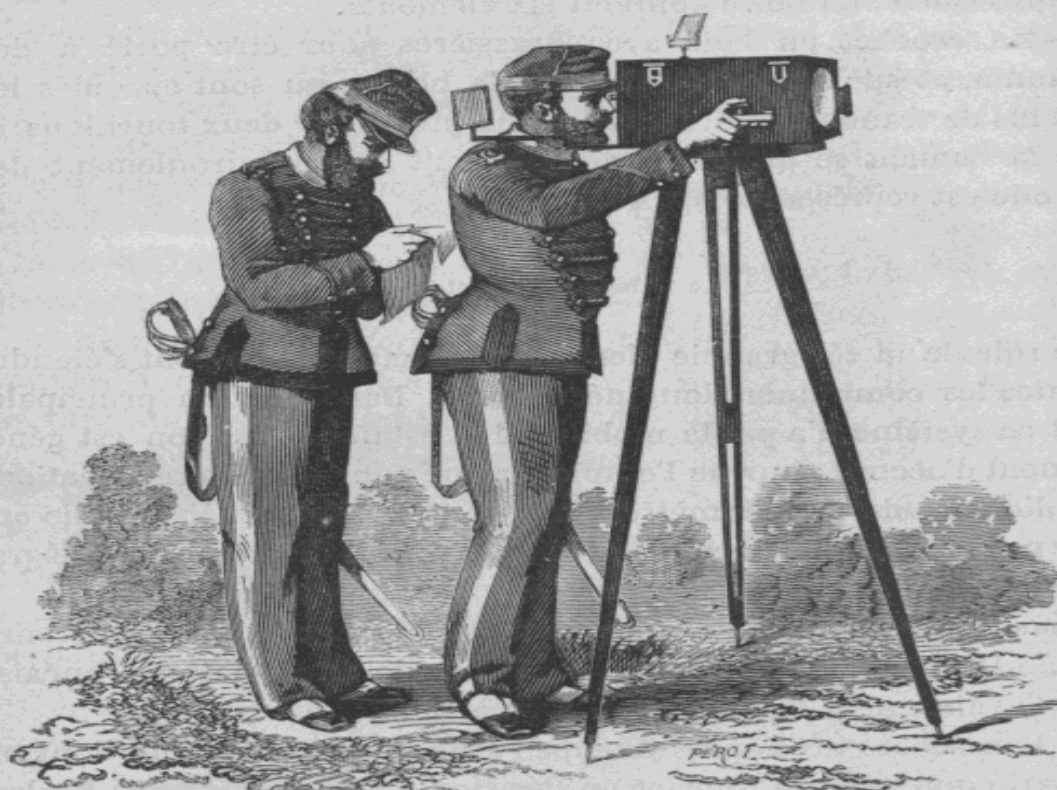
Nous reproduirons à ce sujet quelques passages d'une conférence faite en 1874 par M. Laussedat, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, tenu à Lille.

M. Laussedat cite d'après Chappe l'aîné (*) une invention dont on n'a parlé que pour la tourner en dérision, celle de François Kesler. « Il enferma, dit Chappe l'aîné, son télégraphe dans un tonneau couché par terre; dans le tonneau il plaçait un réflecteur et une lampe suspendue à un crochet; devant un des bouts était une trappe qu'on levait ou baissait à volonté par le moyen d'une tringle. On laissait tomber la trappe une fois pour exprimer la première lettre de l'alphabet, deux fois pour la deuxième lettre, et ainsi de suite. »

On a dit plaisamment de Kesler, à propos de cette lampe renfermée dans un tonneau, « qu'il avait mis la lumière sous le boisseau ». En y regardant de plus près et en examinant la figure gravée dans l'*Histoire de la Télégraphie* de Chappe, on reconnaît que l'invention n'était pas si ridicule, et qu'il y manquait bien peu de chose pour en faire un excellent télégraphe de nuit. D'abord il n'était pas absolument indispensable de poser le tonneau à terre, et l'on pouvait l'installer d'une manière plus commode sur un support d'une

(*) Chappe l'aîné, *Histoire de la Télégraphie*, Paris, 1824.

Fig. 135.



hauteur convenable. Le diamètre du réflecteur, qui pouvait atteindre celui du tonneau, augmentait considérablement l'éclat de la flamme de la lampe, qui était à peu près à l'abri du vent; une lunette, dont la direction était parallèle à l'axe du tonneau ou du réflecteur, servait à orienter l'appareil sur celui de la station opposée, et au besoin à recevoir les signaux partis de la station; en un mot, on trouve dans le télégraphe de Kesler les éléments essentiels d'un bon télégraphe optique, de celui dont nous nous occuperons bientôt.

L'interrupteur formé par la trappe était certainement un organe bien primitif, et le procédé employé pour exprimer les lettres, de l'alphabet rendait à peu près impossible l'usage d'une pareille machine; mais en y réfléchissant un peu, il eût été facile de trouver des combinaisons plus expéditives d'émissions de lumière et d'éclipses. Les modernes inventeurs qui ont suivi la même voie ont pris l'alphabet Morse, en substituant aux points et aux traits de l'écriture des éclats courts et des éclats longs ou des éclipses courtes et longues.

Fig. 136.



Nous franchissons les tentatives faites en vue de tirer du télégraphe de Chappe des signaux visibles pendant les temps brumeux et pendant la nuit, pour citer un travail remarquable de M. Leseurre, publié en 1856.

Cet ingénieur s'inspirant de la découverte de Gauss, utilisa l'héliostat pour remplacer le télégraphe aérien en Algérie, où le climat se prête merveilleusement à l'emploi des signaux solaires.

L'héliostat est composé essentiellement d'un miroir plan de petites dimensions, sur lequel se réfléchissent les rayons du soleil, que l'on peut diriger à volonté sur un point quelconque de l'horizon à des distances considérables. M. Leseurre employait l'alphabet Morse; les éclipses et les éclats étaient produits très-aisément en agissant sur la touche d'un manipulateur qui transmettait le mouvement à un obturateur dont la forme a varié, et qui consistait, en dernier lieu, en une série de lames minces placées près de la surface de l'un des miroirs et fonctionnant comme celles d'une jalousie.

L'auteur ne s'en était pas tenu à ce télégraphe de jour; il avait très-bien compris que l'alphabet Morse permettait de supprimer les lanternes multiples dont ses prédécesseurs avaient presque tous fait usage, et il a été le premier à réaliser un télégraphe optique de nuit parfaitement approprié aux besoins militaires.

Pendant le siège de Paris, en 1870, l'étude de la question de la télégraphie optique fut reprise. Du concours des recherches de plusieurs savants et ingénieurs sortit l'appareil que nous allons décrire, en prenant pour guide les renseignements fournis par M. Laussedat, l'un des auteurs.

Supposons qu'il s'agisse d'établir la correspondance de nuit entre deux stations 1 et 2 situées à la distance de 20 kilomètres.

Si de chacune des stations, une lunette de 4 à 5 pouces d'ouverture a été dirigée vers l'autre, et que la station 1 veuille envoyer une dépêche à la station 2, le stationnaire n° 1 n'aura qu'à placer dans l'alignement de sa lunette une lampe dont la flamme sera à la hauteur et près de l'oculaire, à moins de brouillard ou de brume épaisse, le stationnaire n° 2 verra aussitôt briller dans sa lunette un point lumineux d'un éclat assez vif.

Si le stationnaire n° 1 vient à masquer la flamme de sa lampe ou l'objectif de la lunette au moyen d'un écran, il produira une éclipse pour la station n° 2; puis en enlevant l'écran, il produira un éclat, et en variant la durée et la succession des éclipses et des éclats, il sera en état de transmettre des lettres, des mots, des phrases à son correspondant.

Nous donnons dans les deux *fig.* 135 et 136 l'appareil disposé pour la correspondance de jour et celui qui sert à la correspondance de nuit. Dans le premier cas on emploie les rayons solaires réfléchis par l'héliostat, dans le second le faisceau divergent produit par la lumière d'une lampe à pétrole placée au foyer de l'objectif de la lunette.

Nous citerons encore une curieuse expérience de télégraphie optique faite par M. Léard. Il n'est plus besoin dans ce système que les deux postes extrêmes soient en vue pour entrer en relation : le ciel est utilisé comme écran et projette des caractères Morse. A cet effet, on envoie dans l'espace un faisceau de rayons produits par la lumière électrique et ramenés au parallélisme au moyen d'un petit réflecteur parabolique; la manipulation produit les signaux au moyen d'éclipses, comme dans le système qui vient d'être décrit.

Dans l'expérience faite à Alger, une colline de plus de 400 mètres s'élevait entre l'observateur et la source lumineuse. Toutes les dépêches ont été parfaitement lues et renvoyées textuellement; le ciel était sombre et légèrement brumeux, le cône projeté se dessinait sous un angle très-faible, ayant l'apparence d'une queue de comète. De *Fort-National* distant d'*Alger* à vol d'oiseau de 25 lieues, les intervalles longs et courts étaient très-distincts.

Pour augmenter encore la visibilité des signaux, M. Léard propose de colorer l'arc voltaïque au moyen du nitrate de strontiane qui fournit une nuance pourpre magnifique. Ce sel ne serait projeté sur le foyer lumineux qu'au moment où il faut exprimer une brève et une longue, le foyer serait lui-même mis en activité par le manipulateur de façon à ne briller que par intermittence. La guerre et la marine tireront sans doute profit de cette idée originale.

Cryptographie.

Lorsqu'on a réalisé l'échange des lettres et des mots usuels, il est essentiel, pour les opérations militaires, de créer un langage secret afin de garantir la sûreté des correspondances en ne les révélant qu'à ceux à qui elles sont destinées.

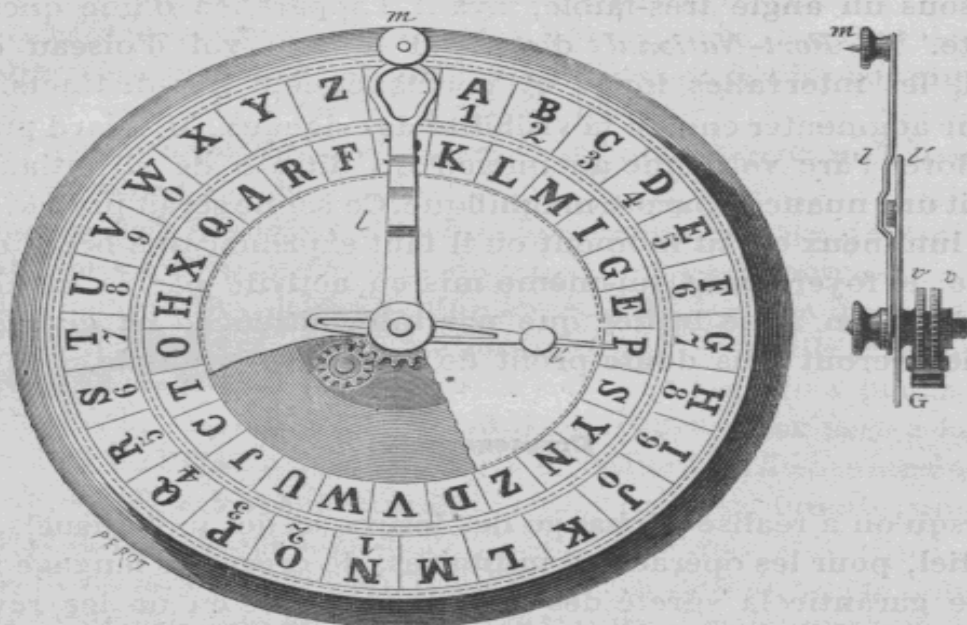
La cryptographie, ou l'art de composer et de traduire les dépêches secrètes, comporte des procédés très-nombreux relatés dans les traités spéciaux. Nous nous bornerons ici à indiquer deux exemples choisis parmi les plus simples.

Supposons qu'on ait choisi pour clef un nombre quelconque; sous la phrase qu'on veut transmettre, on l'écrit autant de fois qu'il peut y être contenu, en établissant la correspondance entre les lettres et les chiffres successifs. On prend pour lettre à envoyer celle qui est placée dans l'alphabet, à une distance de la véritable égale au chiffre posé au-dessous, et l'on compose ainsi un grimoire dont il est impossible de découvrir la clef, fût-on doué de la perspicacité que suppose à son héros *Edg. Poë*, dans le roman du *Scarabée d'or*, ou de l'intelligence des agents employés à déchiffrer la correspondance de la duchesse de Berri en 1832, d'après le récit qu'on trouve dans les mémoires de M. *Gisquet*.

Lorsqu'on veut se réserver la faculté de changer fréquemment la clef du chiffre, on trouve une excellente solution dans l'emploi du cryptographe de M. *Wheatstone*. Il est formé d'un petit cadran

représenté *fig. 137*. Cette figure montre la face extérieure sur laquelle apparaissent deux alphabets concentriques. Le plus rapproché du bord est disposé suivant l'ordre normal des lettres; il contient 27

Fig. 137.



cases (26 lettres plus un blanc). Le second présente une distribution arbitraire, il renferme seulement 26 lettres, le premier est invariable, les lettres du second peuvent être placées autour du centre dans un ordre quelconque, suivant une convention arrêtée avec le destinataire de la dépêche pour modifier la clef. On suppose la correspondance établie par un avis préalable, entre les lettres prises pour origine (par exemple le blanc sur le premier cercle et la lettre P sur le second dans la figure).

Lorsqu'on veut composer une dépêche en langage secret on ramène les deux aiguilles *l* et *l'* à l'angle de convention, sur le blanc et sur la lettre P, puis on tourne le bouton *m* et l'on prend pour lettre de la transmission, celle du deuxième cercle qui correspond à la lettre du texte lu sur le premier cercle.

On remarquera l'avantage du dispositif employé par M. Wheatstone. La portion découpée représentant l'intérieur de l'appareil, montre que la petite aiguille *l'* est liée à l'aiguille *l* par une *minuterie* composée des deux roues V et V' qui ont respectivement 27 et 26 dents.

Chaque fois que l'aiguille *l* a fait un tour, l'aiguille *l'* avance d'une dent. Il en résulte que lorsque la même lettre est répétée deux fois dans le texte, elle se trouve reproduite dans le chiffre chaque fois par une lettre différente. On déroute ainsi les investigations des curieux : l'artifice qui sert à lire les chiffres ordinaires consistant à étudier la répétition du même signe, et à appliquer le classement des lettres suivant leur degré de fréquence dans un texte déterminé.

Pour déchiffrer la dépêche, il n'y a qu'à suivre l'ordre inverse de celui qui a servi à la correspondance. Notons encore que la case blanche du premier cercle, qui sert pour la séparation des mots, est représentée aussi sur le deuxième cercle par une lettre, de façon que la dépêche composée ne présente aucune solution de continuité.

LA POSTE ET LA TÉLÉGRAPHIE PENDANT LE SIÈGE DE PARIS.

Les procédés que nous allons indiquer n'appartiennent plus au système électrique, nous les mentionnons à cause de leur originalité et des services qu'ils ont rendus. *M. Ch. Boissay* a publié à ce sujet dans le *Journal des Économistes* une intéressante revue dont nous citerons quelques extraits.

Pendant quatre mois et demi (du 16 septembre au 28 février 1871), les correspondances de Paris avec la province furent assurées par un service d'*aérostats* et l'envoi de *pigeons voyageurs*.

Aérostats. — La capacité des aérostats variait de 1.200 à 2.000 mètres cubes, l'enveloppe était en percaline de coton. Les ballons devaient enlever un poids net de 500 kilogrammes, dix heures après avoir été remplis de gaz d'éclairage. Le forfait payé aux entrepreneurs fut en moyenne de 3.800 francs; la dépense de gaz entraînait pour 500 francs environ dans ce prix.

Outre les cartes postales et les lettres confiées aux ballons, on autorisa aussi par cette voie l'expédition de mandats jusqu'à concurrence de 300 francs. Pendant toute la durée du siège, 160 personnes, y compris les aéronautes, sont sorties de Paris par cette voie inusitée; 65 ascensions ont eu lieu, 1 d'un ballon libre ne portant que des dépêches, 52 de ballons portant des voyageurs et des dépêches, 12 de ballons ne portant que des voyageurs seulement. Les

aérostats ont reçu 8.919 kilogrammes de dépêches, soit environ trois millions de lettres.

Les voyages ont été généralement heureux, quoique dirigés par des aéronautes débutants. Deux ballons cependant sont allés se perdre en mer, les Allemands ont réussi à faire prisonnier l'équipage de cinq autres : parmi ces derniers se trouvait le *Daguerre*, ballon atteint par les projectiles ennemis ; les autres ballons furent capturés en pays ennemi ou occupé.

Après la perte du *Daguerre*, les ascensions furent exécutées de nuit, ce qui préserva de tout accident. Les dépêches officielles du *Daguerre* furent sauvées par le matelot aéronaute, qui alla au péril de sa vie les chercher à Ferrières où elles avaient été cachées dans un bois.

M. Ch. Boissay raconte ainsi les péripéties de l'aérostat-poste la *Ville-d'Orléans*. « Il s'éleva de la gare du Nord le 24 novembre à 11^h 40^m et descendit après 14^h 3/4 de voyage, le 25 novembre, à 2^h 25 du soir, au mont Lid en Norvège, à 350 kilomètres au sud-ouest de Christiania, à 1.250 kilomètres de Paris. Le ballon avait parcouru 85 kilomètres à l'heure, vitesse plus grande que celle d'un train express.

« Les dépêches que portaient les voyageurs de la *Ville-d'Orléans* suivirent le chemin le plus bizarre ; elles furent acheminées successivement à pied, en barque, en traîneau, en chemin de fer et en voiture jusqu'à Christiania, de là la dépêche officielle fut expédiée à travers la Norvège par le télégraphe électrique, puis entre la Norvège et l'Europe par le câble sous-marin, encore par le télégraphe à travers la Grande-Bretagne, puis encore par un second câble d'Angleterre en France, et enfin par le télégraphe jusqu'à Tours, d'où l'accusé de réception de la dépêche et la nouvelle du voyage du ballon furent apportés à Paris le 1^{er} décembre par un pigeon. Les lettres et les aéronautes furent transportés par steamer de Christiania à Londres, par railway de Londres à Southampton, par steamer de Southampton à Saint-Malo et par railway de Saint-Malo à Tours. »

Correspondance par pigeons. — La correspondance à l'aide de pigeons voyageurs est très-rapide, cet oiseau fait 60 à 70 kilomètres à l'heure.

Quelques jours avant l'investissement, le préfet du Nord et le président de la chambre de commerce de Lille, ainsi que des

habitants de Laval, envoyèrent au Jardin des Plantes à Paris 1.000 pigeons des colombiers de Roubaix et de Tourcoing et 100 de Laval.

400 de ces oiseaux furent expédiés ainsi porteurs de dépêches pour l'intérieur. Pour la communication inverse, il fallait emmener les pigeons hors de Paris et les attendre au colombier; le président de la société colombophile de Paris partit par aérostat le 11 octobre pour surveiller le lancé en province.

Les vingt colombiers de Paris ont fourni 369 pigeons qui ont été emportés par les ballons; sur ce nombre, 73 seulement appartenant à 12 colombiers, sont revenus. Parmi ces 73 messagers, 8 avaient perdu leurs dépêches, 3 capturés par les Allemands sont rentrés avec des dépêches apocryphes, 2 ont simplement rapporté des nouvelles de la descente du ballon.

Pour saisir les pigeons, les Prussiens avaient lancé des faucons dressés, importés de Saxe. M. Ch. Boissay rapporte qu'on a tué au-dessus d'un colombier un faucon pèlerin portant encore les traces du capuchon dont on leur couvre la tête et l'anneau avec lequel on les retient avant de les lâcher sur leur proie.

Les dépêches étaient roulées dans des tuyaux en plumes d'oie placés sous la queue du pigeon. Un seul individu a pu apporter jusqu'à 23 feuilles de télégrammes.

Les premières dépêches étaient manuscrites; au bout de quelques jours on réduisit les dépêches manuscrites par la photographie. Le 10 novembre, un Décret autorisa la correspondance privée par ce moyen.

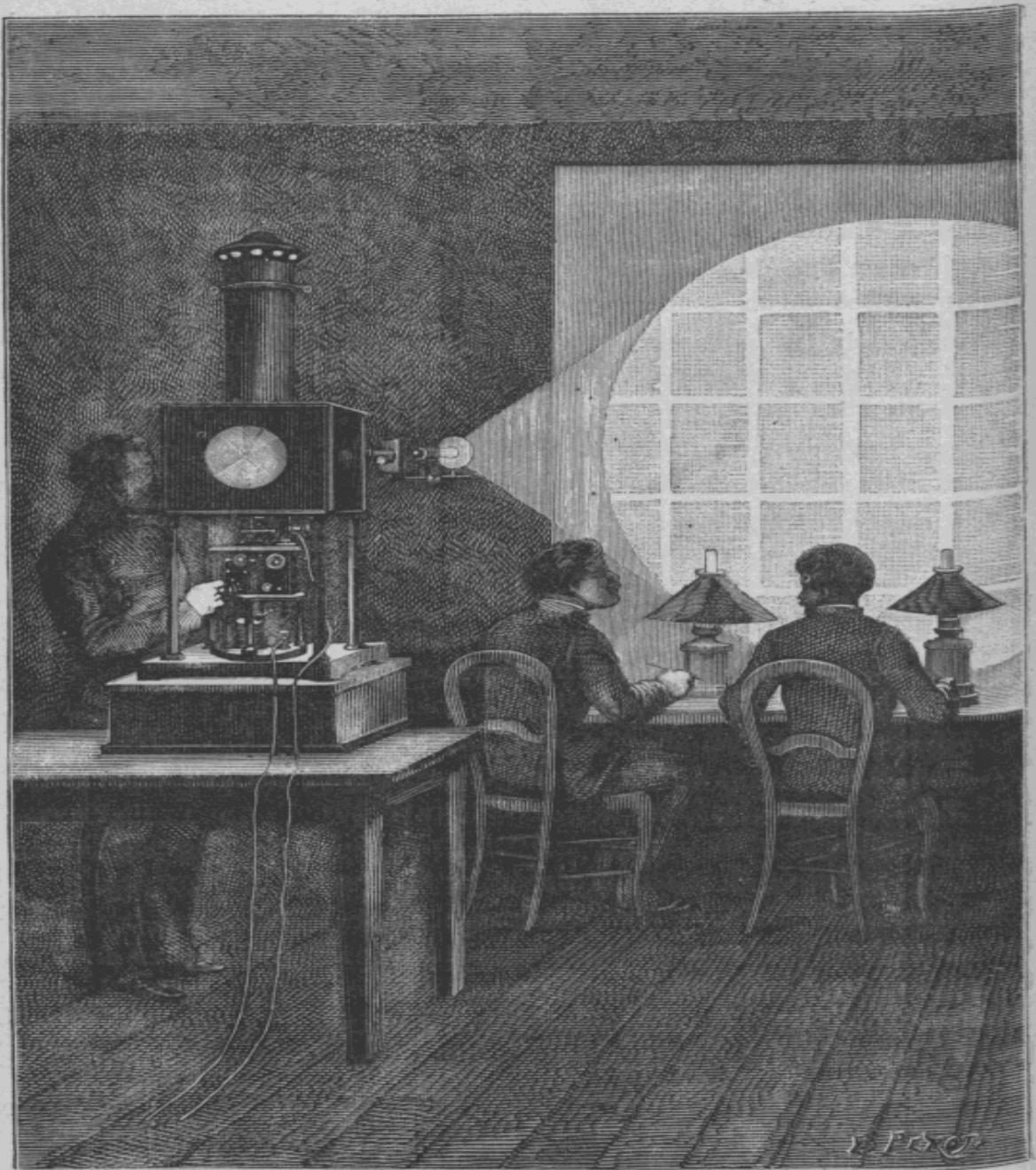
A Tours, l'Administration faisait typographier les dépêches avant de les faire photographier sur les deux côtés d'une feuille de papier. On réussit ainsi à envoyer 240 dépêches de 13 mots dans un carré de papier de 3 centimètres de largeur sur 4 de hauteur.

De nouveaux progrès furent accomplis; on substitua à la feuille de papier une lame mince de collodion beaucoup plus légère encore, chaque feuille était confiée à une quarantaine de pigeons différents. Enfin en poussant la réduction photographique à ses dernières limites, en tirant des photographies 800 fois plus petites que l'original, en typographiant le journal des dépêches sur trois colonnes, on a réussi à faire entrer sur une feuille de collodion de 50 centimètres carrés, 48 pages typographiées et 1.600 télégrammes de

15 mots, divisés en autant d'alinéa qu'il y avait de lieux de provenances différentes.

A Paris, les dépêches furent d'abord lues à la loupe, dictées ainsi

Fig. 438.



et transcrites à la main : plus tard on substitua le microscope à la loupe, puis le microscope photo-électrique au microscope ordinaire quand arrivèrent les collodions. L'image agrandie de la photographie était projetée dans une pièce obscure, par un rayon de lumière électrique, sur un écran blanc où des employés lisaient et copiaient les télégrammes.

Cette opération est représentée par la *fig. 138*, où l'on voit l'installation de la lampe électrique et la projection de la dépêche sur le mur.

On fit aussi avec la lumière électrique des photographies agrandies des dépêches microscopiques d'abord sur verre, et enfin sur papier. Ces photographies étaient lues à l'œil nu, copiées et envoyées aux destinataires.

Il est ainsi arrivé plusieurs volumes de dépêches officielles et 400.183 dépêches privées dont 68.550 télégrammes, 30.250 cartes-réponses et 1.383 mandats. Un pigeon a apporté une seule fois 500 pages de dépêches officielles et 15.000 dépêches privées.

TROISIÈME PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE PNEUMATIQUE.

Le télégraphe *pneumatique* tend à se substituer de plus en plus au télégraphe *électrique* dans la transmission des dépêches échangées entre les divers quartiers d'une ville.

Pour faire parler l'électricité on décompose l'écriture : plusieurs signaux successifs font une lettre, plusieurs lettres un mot, enfin plusieurs mots rendent la pensée. Les signaux passent vite lorsque la voie est libre, mais quand le fil est encombré les dépêches attendent.

Au lieu d'un fil, si l'on en met deux, trois, etc., il semble qu'on prévienne cet encombrement. Il faut toutefois remarquer que cette augmentation a une limite qui est fixée par le budget de l'entreprise.

Un bureau télégraphique travaille d'une façon intermittente; il est impossible de prévoir toujours le moment de l'encombrement. Dans ces conditions, comment régler le personnel? On se trouve entre deux alternatives : ou n'avoir qu'un nombre restreint d'employés, suffisant pour écouler la besogne d'une façon convenable, en la supposant uniformément répartie; ou entretenir une armée formidable pour ne l'utiliser qu'à de rares intervalles.

Le télégraphe pneumatique procède d'une autre façon; il prend toutes les dépêches à la fois et les place dans une boîte que l'air comprimé pousse jusqu'à destination. Il n'y a plus ici d'encombrement ni d'erreurs de transmission, la vitesse ne dépend que de la puissance des appareils de production d'air : on atteint *aisément* 1 kilomètre par minute.

Ce système fonctionne à Londres depuis 1858, à Paris et à Berlin depuis 1866, à Vienne depuis 1875. Nous ferons connaître ici l'organisation du service à Paris.

CHAPITRE PREMIER.

ÉNONCÉ DU PROBLÈME. CHOIX D'UN TRACÉ.

Le réseau télégraphique que commande Paris part du n° 103 de la rue de Grenelle-Saint-Germain. Le bureau central a une double fonction : il doit distribuer sur toute la surface de la ville, dans le moins de temps possible, les dépêches venues par plus de deux cents fils. Il lui faut encore apporter, sans de trop grands déplacements pour les intéressés, toutes les réponses aux questions posées. En un mot, il y a des dépêches *d'arrivée* à distribuer, des dépêches *de départ* à recueillir.

Des succursales établies d'abord dans les quartiers d'affaires, puis successivement dans tous les autres, furent reliées à la station de la *rue de Grenelle* au moyen de fils électriques. La distribution se réduit dans ce cas au port à domicile, au moyen de piétons, dans une circonscription de peu d'étendue tracée autour de la succursale. Celle-ci reçoit aussi à son guichet les dépêches de départ du public et les fait parvenir au centre sur les ailes de l'électricité.

Tout fut pour le mieux, tant que le progrès ne s'en mêla point. Vint un jour où les fils furent tellement encombrés, qu'entre la place de la Bourse et la rue de Grenelle, on vit circuler, à la grande satisfaction des clients du télégraphe, de petites voitures bien légères, attelées d'un bon cheval, qui, chaque quart d'heure, exécutaient ce voyage de 3 kilomètres en quinze minutes. Elles emportaient la primeur des nouvelles de la Bourse et rapportaient en échange les ordres de la province.

Quand on en fut là, on songea à remplacer ce trajet encombrant par une circulation souterraine à l'intérieur d'un conduit reliant les deux stations. L'idée fit son chemin ; le réseau des tubes, étendu à

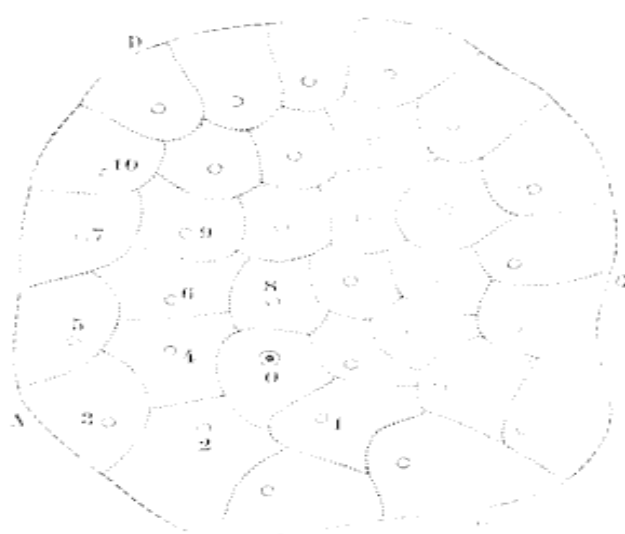
toutes les succursales, apparut comme la solution naturelle du problème de la distribution des dépêches à courte distance.

Nous développerons actuellement les considérations qui fixent le tracé du réseau.

SYSTÈME RAYONNANT.

Supposons la ville qui nous occupe renfermée dans le périmètre

Fig. 139.

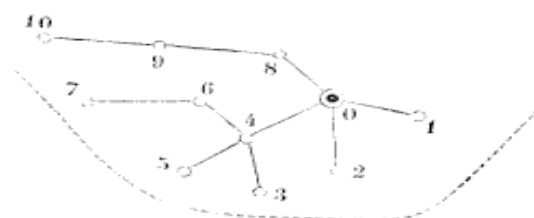


ABCD (fig. 139). Le centre télégraphique auquel aboutissent toutes les communications de l'extérieur est au point O. Les succursales, représentées par de petits cercles, sont réparties uniformément à des distances d'un kilomètre les uns des autres. C'est un cas absolument théorique dont l'examen simplifiera l'exposition, nous aborderons ensuite la solution adoptée à Paris. On voit immédiatement à l'inspection de la figure que cette

disposition se prêterait à une distribution rapide, les circoncriptions tracées autour de chaque centre secondaire s'étendent seulement dans un rayon de un demi kilomètre. Les déplacements imposés aux expéditeurs pour le dépôt de leurs dépêches au bureau seront compris dans les mêmes limites.

L'idée la plus naturelle serait de relier chacun des centres secon-

Fig. 140.



daïres au centre principal O. Une première simplification serait réalisée en infléchissant un peu les rayons de manière à grouper sur la même direction plusieurs points consécutifs (fig. 140). La communication du centre O aux extrémités 10, 7, 5, 3, 2, 1, se ferait

par les rayons en traversant les postes intermédiaires 8, 9, 4, 6.

Dans l'exemple ci-dessus, le nombre des lignes de 1 kilomètre à tracer pour desservir les dix succursales serait de dix.

Si nous considérons l'exploitation de ce petit réseau, nous voyons que les allées et venues des dépêches entre le centre 0 et chacun des divers points 1, 2, 3, ..., 8, 9, 10, en les supposant échelonnés à des intervalles réguliers, comporteront *dix* parcours de *un kilomètre* dans un sens et *dix* parcours égaux dans le sens opposé pour chaque période.

En résumé : *dépense de premier établissement*, dix lignes de *un kilomètre*; *dépense d'exploitation*, vingt parcours de *un kilomètre*.

SYSTÈME POLYGONAL.

Prenons maintenant le groupement représenté par la *fig. 141*. Les

Fig. 141.



points 8, 6, 7, 10, 9 ont été reliés entre eux et forment un pentagone. Le point 8 commande les relations avec le point 0. Au lieu de faire l'échange par des rayons tracés du point 8 à chacun des points 6, 7, 9, 10, on peut très-bien admettre une circulation

complète sur le pentagone partant de 8 sur 6, de 6 sur 7, de 7 sur 10, de 10 sur 9, enfin de 9 sur 8. Il est évident que dans cette rotation, le va-et-vient des dépêches sera obtenu comme dans le système précédent; les dépêches d'arrivée, transmises d'abord de 0 à 8, puis cheminant de 8 à 6, etc., se déposeront successivement aux diverses étapes de leur route et les dépêches de départ se collectionneront de même pour aboutir à 8 et de là à 0.

Le pentagone 0, 2, 3, 5, 4, 0 se prêtera à la même circulation.

Enfin le rayon 0-1 fonctionnera comme dans le cas de la *fig. 140*.

Supputons les lignes à établir pour desservir les 10 points; elles sont dans la *fig. 141* au nombre de 12. Différence en plus au détriment du procédé : 2 *kilomètres*.

En revanche, pour l'exploitation, nous servirons toutes les relations avec 14 parcours de 1 kilomètre, soit 5 pour chaque penta-

gone, et 2 pour chacun des rayons 0-8 et 0-4 ; gain sur l'autre mode 6 parcours.

Auquel des deux donner la préférence ?

Évidemment, au second, si les retards qu'il comporte ne sortent pas des limites acceptables.

Nous abordons maintenant un autre côté de la question.

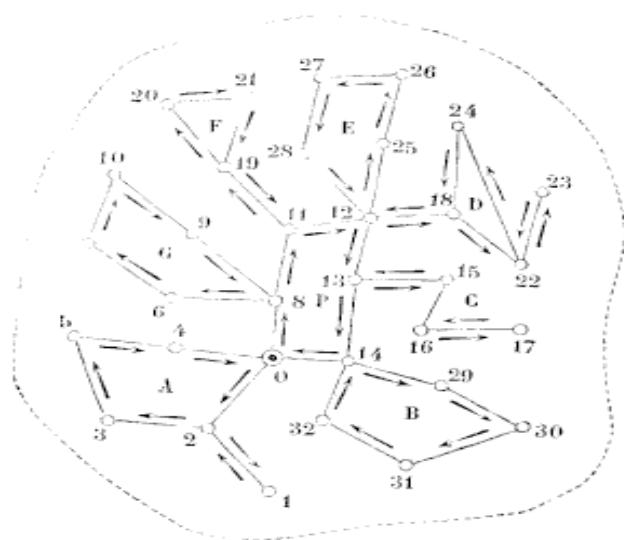
Nous avons supposé que les succursales ne servaient qu'à l'échange des dépêches avec la station centrale. Il y a une deuxième distribution plus active même que la première, celle des dépêches de la ville pour la ville.

Dans l'organisation qui fait rayonner tous les points autour du centre, la communication entre deux points quelconques se fait par l'intermédiaire du centre qui se trouve de fait toujours encombré.

Au contraire, le *système polygonal* (fig. 141) permet de distribuer, chemin faisant, dans l'intérieur du polygone et sans l'intermédiaire du centre, les correspondances originaires d'un sommet pour un autre sommet du même polygone. C'est là un avantage considérable du système, qui pallie bien quelques retards dans le service avec le centre, sans parler de l'économie qu'il apporte.

Appliquons ces diverses notions au tracé du réseau qui relierait entre eux les différents points représentés sur la fig. 139. Nous formerons un premier polygone central (fig. 142) 0, 8, 11, 12, 13, 14, 0,

Fig. 142.



commençant six côtés. Admettons que la durée du trajet 0 — 8, 8 — 11, ..., 14 — 0 soit d'un quart d'heure, arrêts compris, et l'intervalle de deux envois consécutifs également d'un quart d'heure. Faisons rayonner autour de chacun des sommets du polygone P des figures A, B, C, D, E, F, G, composées soit de pentagones comme A avec un rayon 2 — 1, soit de pentagones seuls comme B, E ou G, soit de rayons consécutifs comme C, soit enfin de triangles comme D et F portés aux extrémi-

lés de rayons 12 — 18, 11 — 19. La distribution sur les réseaux secondaires A, B, C, D, E, F, G, devra être réglée de telle sorte qu'à chaque passage aux points (0, 8, ..., 14) du convoi de dépêches circulant sur le réseau principal P, il y ait correspondance des convois partiels circulant sur lesdits réseaux A, B, ..., F, G.

La seule condition à observer dans le tracé de ces réseaux secondaires A, B, ..., G, c'est que la durée du parcours sur chacun d'eux soit égale à l'intervalle des trains de dépêches sur le réseau principal P. Il est évident que de la sorte le système une fois mis en marche conservera la régularité de son allure, si d'ailleurs le fonctionnement de chacune des parties n'est pas sujet à des dérangements tenant aux lignes ou aux postes. Nous verrons que de ce côté on peut avoir une sécurité complète.

Pour continuer l'explication, revenons au réseau principal P, qui est parcouru de 0 à 8, de 8 à 11... de 14 à 0 dans l'intervalle d'un quart d'heure, c'est-à-dire qu'un train de dépêches parti de 0 à 8 heures du matin a déposé successivement aux points 8, 11, 12, 13, 14 les dépêches de distribution dans cet intervalle. Mais en même temps il a fait la cueillette dans tout son parcours, et il revient au bout du quart d'heure chargé des dépêches à transmettre récoltées aux stations 8, 11, 12, 13, 14, 0, tant pour leur compte que pour celui des réseaux secondaires qui y aboutissent.

Le train suivant de 8 heures 15 du matin quitte la station 0 quand le précédent est rentré et remplit les mêmes fonctions. Quant aux réseaux secondaires, leurs dimensions, qui n'excèdent jamais 5 parcours, laissent un certain jeu aux correspondances; on est ainsi assuré que le service du réseau principal n'est jamais retardé (*).

Les échanges entre la station centrale et les succursales, ainsi que les relations inverses, auront donc toute l'activité désirable; chaque trajet d'un kilomètre par l'air comprimé pouvant s'effectuer en une minute et demie, et les arrêts à chaque station ne dépassant pas en moyenne une minute.

(*) Le réseau A ne comporte que 5 parcours, car on peut régler le service de l'embranchement 2-1 (aller et retour) de façon qu'il corresponde lui-même avec le service du pentagone 0, 4, 5, 3, 2, 0. Le réseau C comporte en réalité 6 parcours (aller et retour), mais on peut, au moyen d'un croisement au sommet 16, le faire rentrer dans la série.

Les réseaux D et F comprennent aussi cinq parcours; seulement il faut remarquer que les rayons 12-18, 11-19 sont traversés deux fois chacun, pour un seul trajet sur le triangle qui les termine.

Pour le rayon 22-23, même observation que pour 2-1.

Il reste les dépêches de la *ville pour la ville*, c'est-à-dire les relations de tous les points entre eux.

Dans l'étendue d'un petit réseau, lorsque les relations se présentent suivant le sens du mouvement des trains, la distribution se fait en route, ce qui est le plus avantageux.

Si, dans ce même réseau, les relations se présentent dans un sens contraire à celui du mouvement, il y a une perte de temps d'un train, parce que les dépêches viennent d'abord toucher le réseau principal au point de contact avec le réseau secondaire, et la distribution ne s'effectue que par le train suivant.

Enfin, lorsque les dépêches ont à passer d'un réseau sur l'autre, elles empruntent toujours une partie du réseau principal pour se rendre à destination. Mais les correspondances existent partout, il n'y a pas de temps d'arrêt inutiles, la durée du parcours se calcule toujours en comptant le nombre de sections, et attribuant à chacune d'elles un intervalle de 2 minutes et demie, soit 1 minute et demie pour le trajet d'un kilomètre, et 1 minute pour chaque arrêt à l'extrémité de ce kilomètre.

Cela posé, il est facile de voir que le tracé représenté *fig. 142* fournit la solution d'un problème intéressant.

Étant donnée la ville représentée par les lig. 139 et 142, installer un système de distribution des correspondances qui assure l'échange d'un pli fermé entre deux points, dans une durée qui n'excédera pas 1 heure et demie pour le cas le plus défavorable.

Prenons un exemple : soit à échanger un pli du point 23 à la circonscription desservie par le point 21 :

Ajoutons les parcours successifs, arrêts compris :

		minutes.
Réseau D. . .	23 — 22.	2 1/2
	22 — 24.	2 1/2
	24 — 18.	2 1/2
	18 — 12.	2 1/2
	12 — 13.	2 1/2
Réseau P. . .	13 — 14.	2 1/2
	14 — 0.	2 1/2
	0 — 8.	2 1/2
	8 — 11.	2 1/2
Réseau F. . .	11 — 19.	2 1/2
	19 — 20.	2 1/2
	20 — 21.	2 1/2
TOTAL. . . .		30 min.

Augmentons cette durée de 45 minutes perdues au départ à attendre le passage du train, et de 15 autres minutes pour le port à domicile ; il restera encore 30 minutes pour l'imprévu dont la part sera très-faible avec un service bien organisé.

Une exploitation montée dans ces conditions aura toute la régularité de celle d'un réseau de chemin de fer, dont elle est l'application réduite.

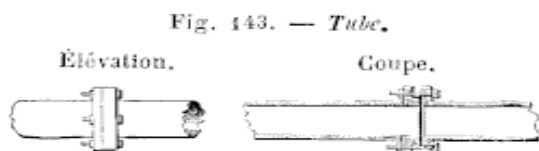
CHAPITRE II.

ÉTABLISSEMENT DES LIGNES.

TUBES.

Les lignes sont établies avec des tuyaux en fer étiré, *soudés à recouvrement*. Les bouts, de 5 à 6 mètres de longueur, sont assemblés

entre eux par des joints à brides et boulons (*fig. 143*). Le diamètre intérieur des tuyaux est de 0^m,065 avec tolérance jusqu'à 0^m,064. Les parties courbes ont des rayons va-



riant de 10 à 50 mètres. La proportion des courbes par rapport aux parties droites est d'environ 1/7.

Les tubes sont posés en terre à une profondeur moyenne de un mètre, avec des pentes peu sensibles, sauf aux entrées de poste où des dispositions spéciales sont prises pour la réception et l'expédition des trains. En pénétrant dans le sous-sol du bureau, la ligne se relève brusquement par une courbe de 2 à 6 mètres de rayon, et vient se terminer verticalement pour s'adapter à l'appareil de réception et d'envoi.

On utilise aussi, toutes les fois que cela est possible, les galeries des égouts. Les tubes y sont supportés le long des parois par des crochets distants de 2^m,50 à 3 mètres. La recherche des dérangements est facilitée par cette disposition, dans laquelle la ligne reste toujours accessible.

Les égouts ne se raccordent pas généralement avec des courbures suffisantes pour le passage des chariots. Les tubes sortent alors momentanément des galeries et se placent en terre, puis rentrent en égout au point convenable. Nous donnons (*fig. 144 et 145*) une ligne

Fig. 144.
Ligne en tranchée et en égout.
 Coupe longitudinale.

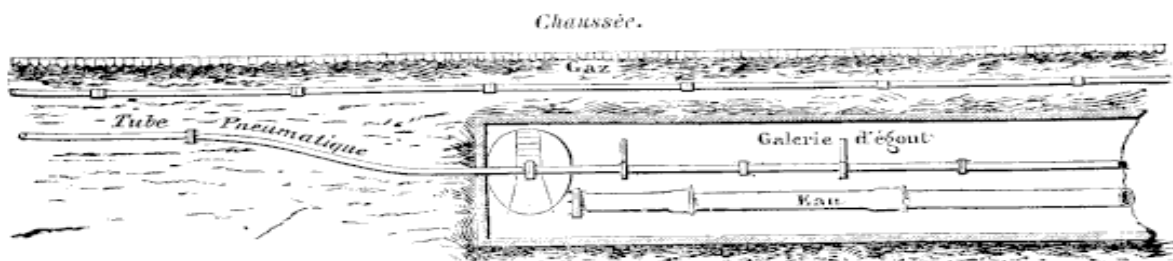
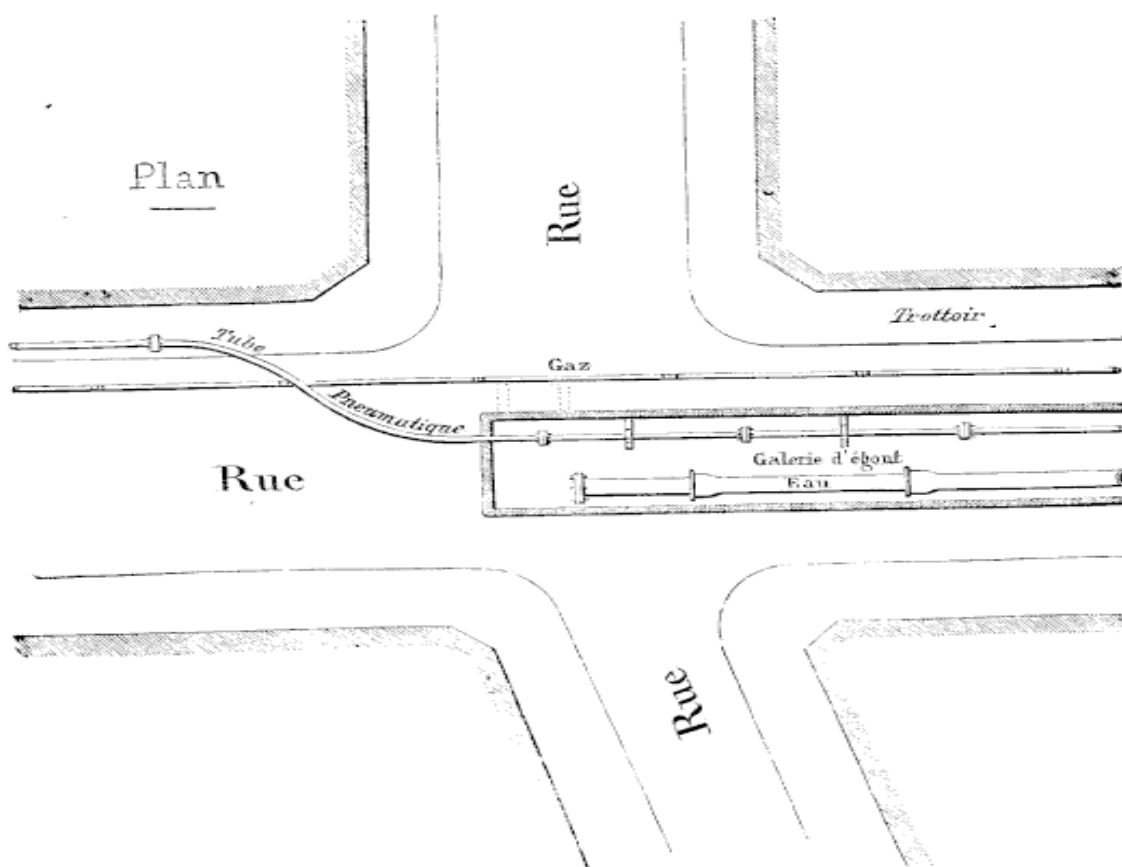


Fig. 145.



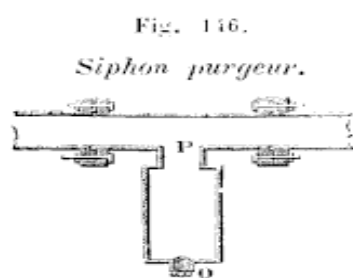
en tranchée et en galerie : la légende explique les diverses particularités du tracé.

Les tuyaux suivent ordinairement la pente du terrain ; lorsqu'il y a lieu de raccorder une tranchée avec un égout, on augmente gra-

duellement la profondeur de la tranchée pour adoucir autant que possible la pente.

Il se produit assez fréquemment aux points bas de la ligne une accumulation d'eau qui peut gêner la marche des trains ou tout au moins en salir le contenu. Cette eau est amenée par l'air moteur chargé de vapeur au moment où il sort du réservoir. Si la ligne dans laquelle l'air se détend est à une température plus basse que le poste expéditeur, il se dépose dans le tube une buée qui détermine l'oxydation de la surface intérieure du tuyau et forme avec la rouille une boue jaunâtre qui s'attache aux boîtes. C'est en hiver ou encore lorsque l'atmosphère est très-humide, que cet effet se produit principalement.

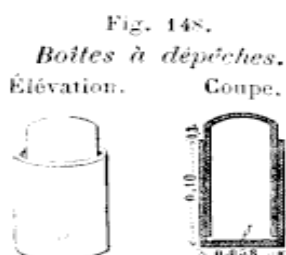
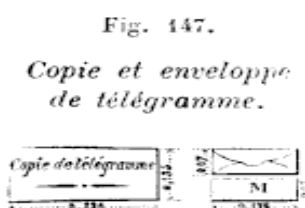
Divers moyens sont essayés pour remédier à cet inconvénient. On peut prendre l'air qui alimente les réservoirs dans un endroit frais et relativement sec. On peut aussi disposer aux points bas des purgeurs analogues à ceux que l'on installe sur les canalisations de gaz (*fig. 146*). La figure donne le modèle d'un de ces appareils qui s'interposent sur le parcours de la ligne partout où c'est nécessaire. L'eau de condensation y pénètre par l'ouverture P disposée de manière à ne pas entraver la marche du train, et trouve une issue par le bouchon Q qu'on enlève lorsque le purgeur est rempli. On visite



tous les mois les appareils de chaque ligne.

CURSEURS.

Le format et le nombre des dépêches à expédier déterminent les dimensions de la ligne. Le



modèle (*fig. 147*) d'une enveloppe pouvant contenir, pliée en quatre, la feuille à télégramme placée à côté, a servi de type.

Des boîtes cylindriques à double enveloppe (*fig. 148*), l'une extérieure en cuir, l'autre intérieure en forte tôle de fer, peuvent contenir 30 à 35 plis.

On forme un train avec plusieurs boîtes placées à la suite l'une de l'autre dans l'intérieur du tuyau. Un piston (*fig. 149*) composé d'un tronc de cône en fer creux, portant à sa partie supérieure une rondelle de cuir découpée en secteurs, transmet aux boîtes la pression de l'air comprimé. C'est en quelque sorte la locomotive du train.



Les deux enveloppes *cuir et fer* protègent efficacement les plis contre l'humidité et les

souillures de la ligne.

Les enveloppes de cuir peuvent faire un trajet de 2.000 kilomètres environ avant d'être hors de service. Les boîtes en tôle sont *embouties*, leur épaisseur est assez grande pour résister aux chocs, elles servent indéfiniment. Le poids de chacune des parties de la boîte est :

Pour le cuir, de 64 grammes,
Pour la tôle, de 182 grammes.

La boîte complète, renfermant 35 plis, pèse 355 grammes.

Les pistons sont aussi en tôle emboutie; on a rempli l'intérieur du cône d'un mandrin en bois traversé par une longue tige taraudée à son extrémité; la vis reçoit l'écrou qui retient la plaque destinée à assujettir la collerette. Cette disposition prévient la séparation, pendant la marche, des diverses pièces qui composent le piston.

Lorsque ce genre d'accident se produit, on retire assez facilement les objets qui sont restés dans la ligne, en envoyant très-doucement un piston seul, qui pousse devant lui l'obstacle et le fait sortir à l'extrémité. S'il s'agit d'un anneau, d'un disque et en général de menus débris, il est essentiel que le piston d'essai soit envoyé presque sans vitesse, afin d'éviter que les objets de petite dimension qu'il doit repousser ne se logent entre la surface extérieure et la paroi intérieure du tube.

Le poids du piston est de 565 grammes. Un train composé de 10 boîtes et d'un piston a un poids maximum de 4^{kg},415. Les enveloppes de cuir et de tôle formant une boîte portent chacune un même numéro d'ordre qui est celui de la boîte. Ce numéro sert de repère pour maintenir l'agencement initial des deux parties. Il est très-important qu'il y ait assez d'adhérence pour que la boîte ne se sépare pas en marche, sans que cependant l'ouverture à la main en

soit très-difficile. C'est presque une minutie d'insister sur ce détail, mais il présente dans l'application une importance extrême: les arrêts qui se produisaient fréquemment à l'origine du service, avaient toujours pour cause le défaut d'adhérence des enveloppes. Il est d'usage aussi de changer deux ou trois fois par jour les boîtes qui circulent sur le réseau; avec cette précaution l'usure est moins rapide.

Le nom de chaque bureau ou de chaque réseau est gravé sur le fond des étuis métalliques et permet aux facteurs d'exécuter rapidement le triage.

Enfin il y a dans les stations un calibre qui sert à vérifier le diamètre des boîtes mises en service. Des arrêts pourront quelquefois se produire parce qu'on aura laissé passer, sans la retenir, une boîte trop grosse de 0^m,001 ou 0^m,002.

Le tableau suivant donne les dimensions comparatives des tuyaux et des boîtes :

Tuyaux.	{	Partie droite. . .	{	Diamètre intérieur réglementaire.	mét.	0,063
			{	Tolérance.		0,064
	{	Partie courbe. . .	{	Diamètre intérieur réglementaire.		0,065
			{	Tolérance.		0,062
Piston. .	{	Diamètre à la tête.	{	Longueur.		0,060
						0,09
Boîtes. .	{	Diamètre extérieur.	{	Longueur.		0,058
						0,13

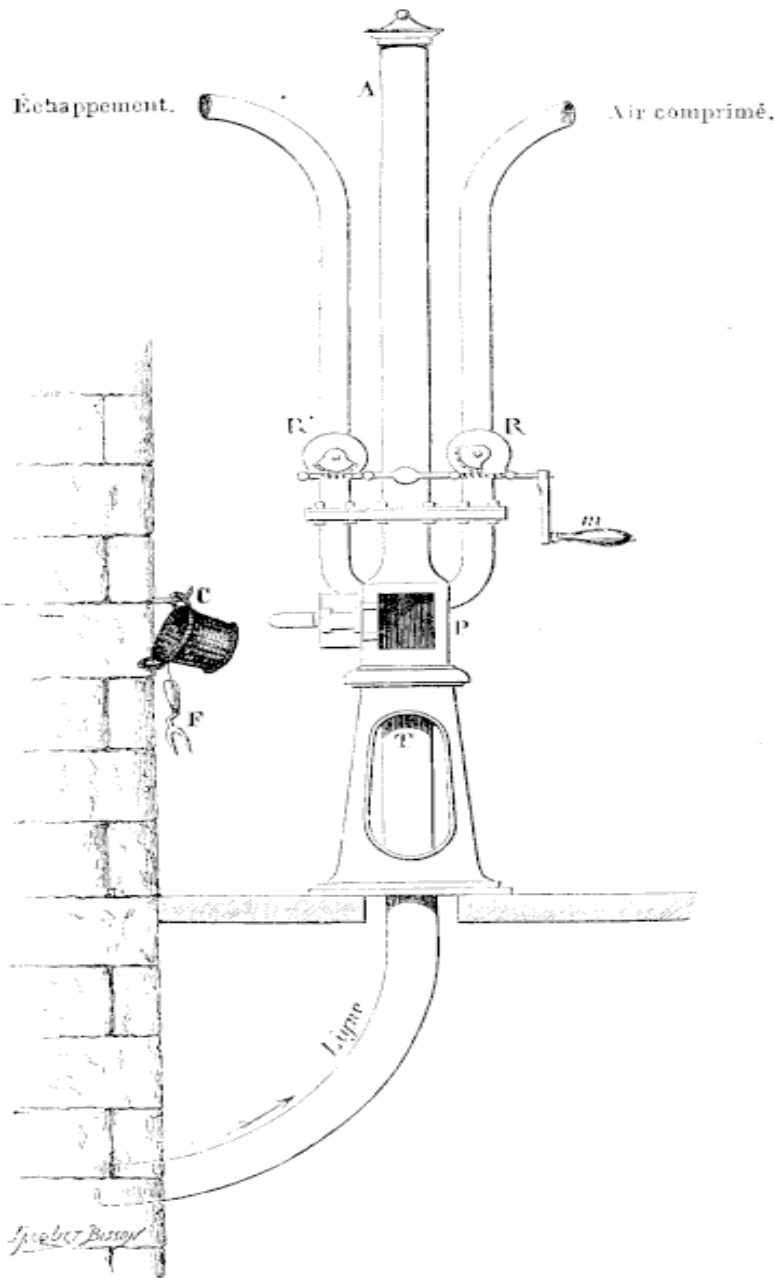
Avec les dimensions ci-dessus, le calcul indique que le rayon minimum qu'on peut donner aux courbes est de 1^m,16.

APPAREILS D'ENVOI ET DE RÉCEPTION.

La *fig.* 150 représente l'appareil disposé pour la *réception*; décrivons maintenant cet appareil.

Le tube A est le prolongement vertical de la ligne terminée en T. La porte P, placée à la partie inférieure du tube A, sert à faire entrer et sortir les boîtes ou le piston. Les deux robinets R et R', commandés par la même manivelle *m*, sont croisés, c'est-à-dire que l'un est fermé lorsque l'autre est ouvert et *vice versa*. Ils établissent la communication de la ligne avec l'échappement à l'air libre ou avec

Fig. 150.
Appareil de réception vertical.



le réservoir d'air comprimé, suivant qu'on est à la position de *réception* ou à celle d'*expédition*.

Veut-on recevoir le train ? Le robinet R est fermé et le robinet R' ouvert (*fig. 150*) ; l'air, au-devant, qui est refoulé pendant la marche,

se perd par l'échappement. Le train arrive en T, monte dans la colonne A, se bute à la partie supérieure et redescend. Il dépasserait le plan inférieur de la porte P, si l'on n'avait la précaution de l'arrêter au moyen d'une fourchette en fer F tenue à la main et posée en travers de l'ouverture. Le piston est d'abord retiré, puis successivement toutes les boîtes qui étaient au-dessus, et le tout est placé dans la corbeille C.

Veut-on, au contraire, expédier? On engage successivement toutes les boîtes dans la ligne en les projetant par la porte P. La pesanteur les fait arriver au point bas de la ligne : on complète le train par l'introduction du piston; puis on ferme la porte P et l'on ouvre le robinet R, en fermant le robinet R' du même coup. L'air comprimé du réservoir agissant sur la tête du piston pousse le train jusqu'à destination. Lorsqu'il est arrivé, on rétablit les robinets dans la situation de réception, et les mêmes opérations peuvent se continuer indéfiniment.

L'appareil de réception et d'expédition est la gare de la ligne. La disposition verticale qui lui a été donnée d'abord est simple et peu encombrante. Le passage d'une ligne à une autre peut cependant être facilité par l'adoption d'appareils horizontaux.

Lorsqu'on n'est pas à l'étroit dans le local, on doit préférer la disposition des *fig.* 151 et 152, avec laquelle le transbordement d'une ligne à la suivante ne nécessite pas le dépôt des boîtes dans une corbeille intermédiaire. Il est aisé de voir que ce nouvel appareil remplit les mêmes fonctions que celui de la *fig.* 150, le robinet à trois voies R met la ligne en relation avec l'air comprimé ou avec l'échappement. Le ressort T amortit le choc du train à l'arrivée. La boîte M s'ouvre lorsqu'on lève le couvercle autour de la charnière *m*, elle se ferme au moyen de la vis *v*.

Il a été fait une autre application de la disposition horizontale des appareils pour réduire la dépense de premier établissement.

Dans le système primitif, chaque station est munie d'appareils pour la production de l'air comprimé; il est souvent possible d'obtenir à une station la provision nécessaire pour le voyage dans deux lignes consécutives. Par exemple, dans le cas de la *fig.* 141, page 271, avec des réservoirs de dimensions suffisantes, on peut arriver à produire en 10 tout l'air comprimé pour les deux voyages 10-9, 9-8. Le gain sera dans ce cas l'économie d'une installation au point 9, à condition

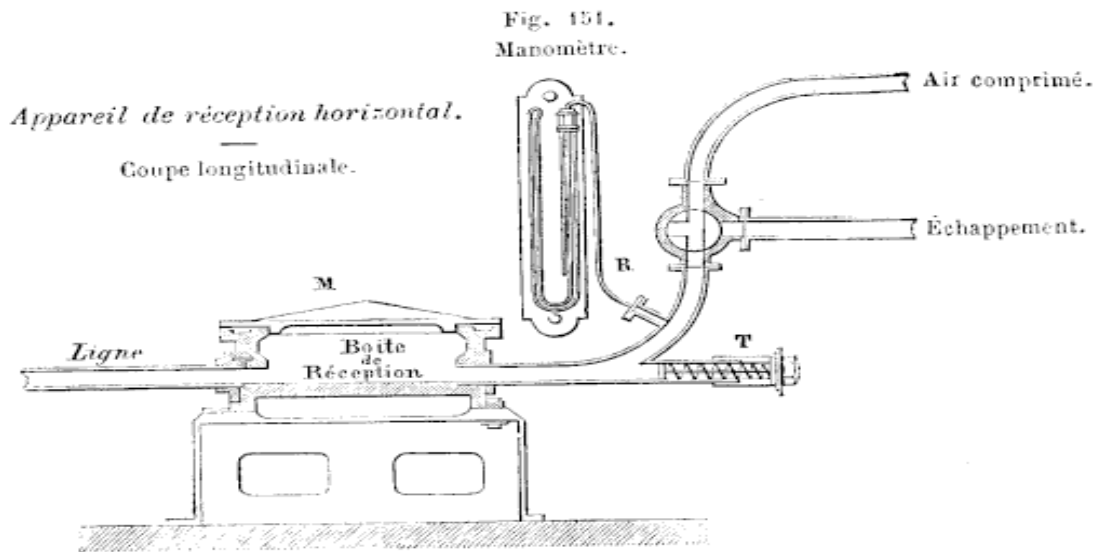
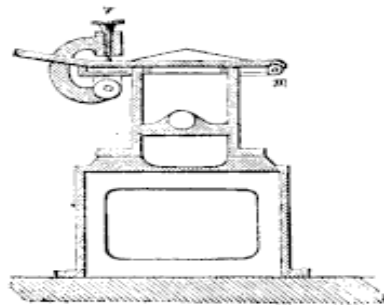


Fig. 152.
Appareil de réception horizontal.
Coupe transversale.



qu'on y dispose convenablement les appareils de réception et d'expédition.

La fonction que devront remplir ces appareils dans la station intermédiaire a quelque analogie avec celle d'une écluse de canal. Il faut placer à l'amont et à l'aval de l'écluse un système de valves qui permettent de retirer le train de la ligne (10-9), pour le placer dans la ligne (9-8), sans perdre la pression de la ligne (10-9), puisque cette pression doit pousser le train sur 9-8.

Voici comment on a réalisé cette idée. L'appareil représenté *fig. 153* et *154* est placé à l'extrémité de la ligne *l*. Lorsque le train est envoyé par la station 10, l'air qui est à l'avant s'échappe par l'ouverture *b* (la soupape *b* étant ouverte et la valve *a* aussi).

Fig. 153.

Disposition d'un poste intermédiaire.

Coupe longitudinale.

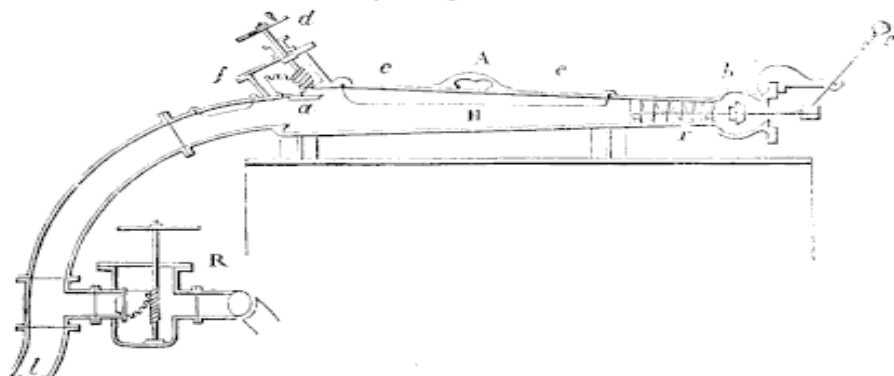
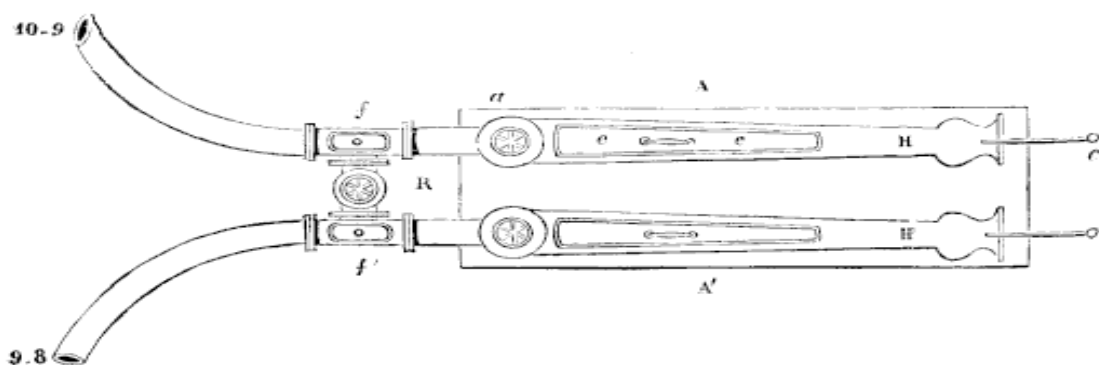


Fig. 154.

Plan.



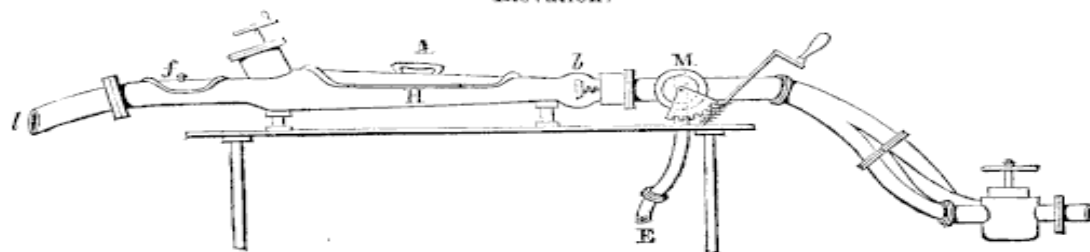
Le train étant arrivé dans la boîte H, pousse le ressort *r* et applique contre l'orifice *b* la soupape que le contre-poids *c* maintient en place. Dans ces conditions, la ligne 10-9 reste chargée, puisque la communication avec l'atmosphère est supprimée. On fait alors mouvoir la vis *d* qui ferme la valve *a* et maintient la pression dans la ligne. On peut ouvrir la porte *ee* et retirer le train pour la manipulation ordinaire; cela fait, on ouvre la porte *f'* de l'appareil correspondant à la ligne 9-8, on introduit les boîtes et le piston dans cette ligne, puis au moyen du robinet R, on transvase de la ligne 10-9 dans la ligne 9-8 l'air comprimé produit en 10, et le voyage s'achève jusqu'à 8.

Les deux appareils A et A' sont identiques et permettent la circulation dans les deux sens sur le réseau.

Lorsque les appareils horizontaux sont placés dans un poste *tête de ligne*, il peut être utile de les disposer de façon à faire marcher les

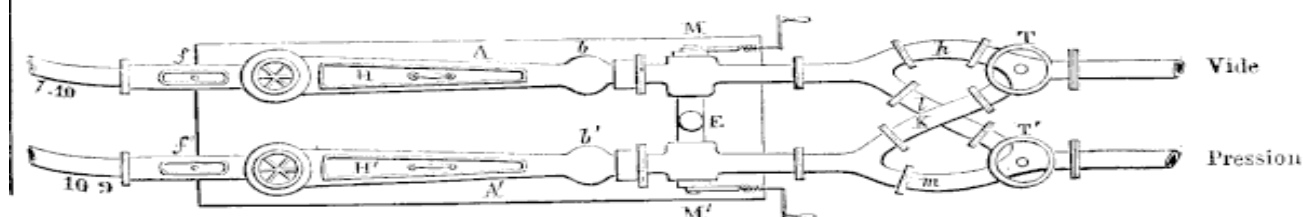
trains par la *pression* ou par le *vide* indifféremment. On obtient dans ce cas toutes les permutations par les robinets T et T' des *fig.* 155 et 156: le *vide* peut être mis à volonté par les conduits *h* et *k* sur les li-

Fig. 155.
Disposition d'un poste tête de ligne.
Élévation.



Légende.			
HH'	Boîtes de réception.	bb'	Tampons d'arrêt.
MM'	Robinet d'envoi (vide-pression).	ff'	Portes d'expédition.
TT'	Robinet de permutation.	<i>h, k, l, m.</i> Tubes amenant le vide ou la pression dans A ou A'.	
E	Tube d'échappement.		

Fig. 156.
Plan.



gnes 7-10 ou 10-9, qui peuvent fonctionner également par la *pression* envoyée en *l* ou en *m*.

CHAPITRE III.

PRODUCTION DE L'AIR COMPRIMÉ.

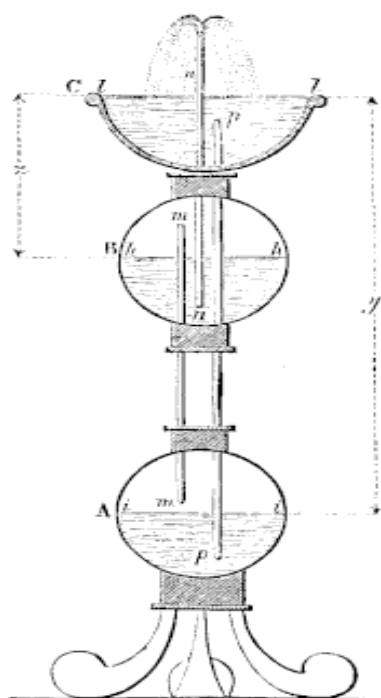
FONTAINE DE HÉRON.

Il y a dans les cabinets de physique un appareil de démonstration que nous allons leur emprunter.

On l'appelle la fontaine de Héron du nom de l'inventeur qui vivait à Alexandrie vers l'an 120 avant J.-C. Nous y trouvons le mode de compression de l'air qui a donné naissance au télégraphe pneumatique.

Deux récipients A et B (*fig. 157*), surmontés d'une cuvette C, sont en communication entre eux ou avec la cuvette par les tubulures *mm*, *nn*, *pp*. De l'eau a été préalablement introduite dans le récipient B jusqu'au niveau *hh*.

Fig. 157.
Fontaine de Héron.



Si l'on vient à remplir la cuvette jusqu'en *ll*, le liquide se rendant par le tube *pp* dans le réservoir A, chassera une partie de l'air qui s'y trouvait précédemment. Cet air ayant une issue par le tube *mm*, viendra dans le réservoir B se mêler à celui qui y était déjà accumulé entre le niveau *hh* et la partie supérieure de ce récipient B.

De l'air ajouté à de l'air dans un espace clos, c'est de l'air comprimé. L'air comprimé est un prisonnier récalcitrant; il cherche toujours à enfoncer les portes de son cachot, et s'il y a quelque part un point faible, soyez sûr qu'il s'y portera pour tenter l'évasion. Ici, il n'y a rien à essayer contre les parois du récipient B qui est en

verre épais, mais le liquide dont le niveau est en hh peut s'échapper par le tube mn ; cela permet à l'air d'obéir à sa loi d'expansion. L'eau monte donc dans ce tube pour jaillir par l'ajutage qui le termine, d'autant plus haut que la pression de l'air qui pousse le jet est plus forte.

Au lieu d'une paroi mobile formée d'un liquide, imaginez un piston placé à l'origine d'un long tube; la pression de l'air s'exerçant sur la tête de ce piston, celui-ci marchera pour laisser l'air se détendre.

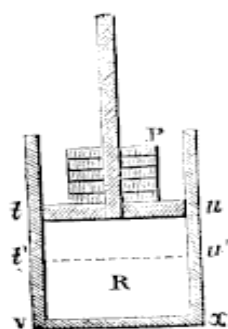
Revenons à la *fontaine de Héron* afin d'étudier plus complètement le mode de compression de l'air. Le tube pp amènera l'eau de la cuvette C tant que le réservoir A ne sera pas rempli et le jet sortira tant qu'il restera du liquide dans le récipient B. Lorsque l'opération sera terminée, on la recommencera en vidant le réservoir A, remplaçant de l'eau jusqu'en hh dans le réservoir B et remplissant la cuvette C jusqu'en ll et ainsi de suite.

A quelle hauteur s'élèvera le jet? Nous savons déjà qu'il s'élèvera d'autant plus haut que la pression de l'air sera plus forte; il nous faut maintenant apprendre à mesurer cette pression.

L'air comprimé agit à la façon d'un ressort tendu, toujours prêt à restituer la force qu'on y a emmagasinée par l'effort fait pour le tendre. On peut, par exemple, concevoir cet effort exercé à l'aide d'un poids tirant le ressort à l'une de ses extrémités, l'autre étant fixe.

Dans le cas de l'air comprimé renfermé dans un vase dont une paroi seulement serait mobile, comme le cylindre R de la *fig. 138*

Fig. 138.
Cylindre de compression.



rempli d'air comprimé entre le fond vx et le piston mobile tu , le poids P qui empêche le piston tu de se soulever donnera la mesure de la pression de l'air. Si ce poids est, par exemple, de 25 kilogrammes et que la surface du piston soit de $0^{\text{m}^2},0025$, on exprimera une mesure de la pression en disant qu'elle est de 1 kilogramme par centimètre carré.

Il faut remarquer que dans cet exemple nous avons fait abstraction d'un poids invisible et qui cependant vient s'ajouter au poids P , pour donner la mesure exacte de la pression de l'air renfermé dans l'espace tux : nous voulons parler de la pression

de l'atmosphère qui concourt avec le poids P à maintenir le piston dans sa position *tu*. Cette pression, que les anciens physiciens n'avaient pas soupçonnée, est connue depuis Torricelli et Pascal c'est-à-dire depuis l'invention du baromètre. On sait qu'elle est de $1^{\text{kg}},033$ par centimètre carré, ce nombre représentant le poids d'une colonne de mercure de $0^{\text{m}},76$ de hauteur ou d'une colonne d'eau de $10^{\text{m}},33$.

De là trois manières également usitées d'indiquer les pressions sur l'unité de surface : le *poids en kilogrammes*, la *hauteur d'une colonne de mercure* ou la *hauteur d'une colonne d'eau*.

Pour revenir à l'exemple, nous dirons que la pression totale exercée sur l'air est, *par centimètre carré*, de 1 kilogramme, *pression effective*, plus $1^{\text{kg}},033$ *pression atmosphérique*, soit ensemble $2^{\text{kg}},033$.

Nous pouvons aussi, évaluant en colonne de mercure cette pression, dire qu'elle est de $0^{\text{m}},73$ (hauteur d'une *colonne de mercure* de $0^{\text{m}},0001$ de base et du poids de 1 kilogramme), *pression effective*, plus $0^{\text{m}},76$ *pression atmosphérique*, soit ensemble $1^{\text{m}},49$.

Enfin, en *colonne d'eau*, la pression est de 10 mètres (hauteur d'une colonne d'eau de $0^{\text{m}},0001$ de base et du poids de 1 kilogramme), *pression effective*, plus $10^{\text{m}},33$, *pression atmosphérique*, soit ensemble $20^{\text{m}},33$.

Ce sont trois expressions équivalentes.

Il y en a encore une quatrième qui consiste à compter par atmosphères et fractions d'atmosphère ; chaque atmosphère représente

ou $1^{\text{kg}},033$
 ou $0^{\text{m}},76$ de mercure.
 ou $10^{\text{m}},33$ d'eau.

Dans ce mode, on fait quelquefois abstraction de la première atmosphère représentant l'effet constant et général de l'air qui nous environne, et l'on ne tient compte que des atmosphères excédantes ; la pression est dite alors évaluée en *atmosphères effectives*. C'est le plus souvent de cette manière que nous nous exprimerons.

Ces points établis, nous pouvons actuellement résoudre la question de déterminer la pression obtenue dans la *fontaine de Héron*, et partant la *hauteur du jet*. L'air renfermé dans les récipients A et B (*fig. 157*), à l'origine est à la pression atmosphérique, puisqu'il se trouve en communication avec l'air ambiant. Lorsqu'on verse de l'eau dans la cuvette C, on intercepte cette communication, et l'on exerce sur l'air

de A une *pression effective* représentée par une colonne d'eau dont la hauteur y est égale à la différence des deux niveaux ll , ii . Cette pression se transmet à l'air de B qui soulève le jet par mn . La hauteur du jet au-dessus de l'ajutage devra être telle qu'ajoutée à la différence z des deux niveaux ll et hh , elle équilibre la colonne y ; en d'autres termes, elle sera égale à la différence entre y et z , c'est-à-dire à la différence de niveau du liquide dans les deux ballons A et B.

La hauteur est en réalité moins grande à cause de la résistance de l'air et du frottement dont nous n'avons point tenu compte dans notre analyse, parce que cette correction n'importe pas à la démonstration. Ce qu'il nous faut retenir, c'est que de l'eau tombant d'une hauteur y dans un vase A, peut accumuler de l'air comprimé à la *pression effective* y dans un vase B. Pour continuer l'explication, nous supposons que l'instrument représenté *fig. 157* ne serve plus qu'à emmagasiner de l'air dans le réservoir B. Avec cette hypothèse, il devient inutile qu'on y verse préalablement de l'eau et qu'on garde le tube mn . Ce tube devra être retiré et l'ouverture par laquelle il pénètre du réservoir B dans la cuvette C fermée hermétiquement. Si nous admettons maintenant que les deux réservoirs A et B aient des capacités égales, et que la hauteur y soit précisément de $10^m,33$, nous allons voir que l'on devra remplir d'eau le réservoir A, pour que le réservoir B soit rempli d'air comprimé à la pression d'une atmosphère effective.

Comment se produit en effet la compression avec notre moyen? Par le transvasement de l'air de A qui vient s'ajouter à l'air de B. Si l'on a rempli d'eau le récipient A, tout l'air qu'il renfermait et qui était primitivement à la pression atmosphérique est poussé dans le récipient B de capacité égale, et plein primitivement aussi d'air à la pression atmosphérique. C'est donc une masse double de gaz que ce récipient B va actuellement contenir.

Si l'on veut encore, en considérant cette masse double de gaz comme renfermée dans le cylindre de la *fig. 158*, et occupant le volume $t'u'vx$, on reviendra à la situation initiale de l'air contenu dans les deux récipients A et B en enlevant des poids qui permettront au piston de remonter et de se placer en tu , de telle façon que le volume tux soit double du volume $t'u'v'x$. Les poids qu'il aura fallu enlever représenteront précisément la variation de la pression dans les deux états.

Or, il existe une relation très-simple entre le *volume* d'un gaz et sa

pression. Cette relation, qui porte en physique le nom de *loi de Mariotte*, s'énonce en disant que : *Pour une même quantité de gaz, le produit du volume par la pression reste fixe*; en d'autres termes, ces deux éléments varient toujours en proportion inverse. Si le volume est *doublé*, la pression devient *moitié*; si le volume est *triplé*, la pression se réduit au *tiers* de sa valeur initiale.

Dans l'exemple, l'air contenu primitivement en A et B occupait un volume $A + B$ ou $2B$, puisque $A = B$, et se trouvait à la pression d'une atmosphère. Lorsque A est rempli d'eau, B est seul rempli d'air; le volume se trouve donc réduit de moitié, et la pression en vertu de la *loi de Mariotte* doit être de deux atmosphères, soit *une atmosphère effective*. Cette pression correspond, en effet, à la hauteur y que nous avons supposée de $10^m,33$.

Il est ainsi établi que dans les conditions de l'expérience, lorsque A est rempli d'eau, B est rempli d'air à la pression d'une atmosphère effective, et que ce résultat n'est atteint que lorsque A est complètement rempli.

A ce moment le niveau h dans la cuvette C devient fixe; car, pour qu'il continuât à baisser, il faudrait que l'eau de A pût monter dans le tube nm , mais elle en est empêchée par le ressort de l'air, qui est précisément à la pression d'une *atmosphère effective* correspondant à la hauteur y . Nous nous sommes étendu sur cette démonstration, parce qu'elle est la base de tous les raisonnements auxquels donne lieu l'établissement des appareils de production d'air comprimé. Si elle est bien comprise, on se figurera sans peine comment on peut, dans une application, déterminer pour chaque cas les dimensions relatives des réservoirs.

Généralement on lance le train avec de l'air à la pression effective de $0^m,45$ de mercure, soit $6^m,11$ d'eau, et l'on détermine le volume des récipients A et B de telle sorte que la pression finale en B, après le voyage accompli, soit d'environ $1/4$ d'atmosphère, soit $0^m,19$ de mercure. Dans ces conditions, le trajet d'un kilomètre s'effectue dans une minute et demie (666 mètres par minute ou 11 mètres par seconde).

Les dimensions assignées par le calcul sont les suivantes :

Données.	{	V étant le volume de la ligne (1 kilomètre).	= $3^{m},320$
		H — la pression atmosphérique.	= $0^m,76$
		H' — la pression de départ.	= $0^m,76 + 0^m,45$
		h' — la pression d'arrivée.	= $0^m,76 + 0^m,19$

$$\text{A réservoir d'eau} = \frac{h'}{H} \times \frac{H' - H}{H' - h'} V \dots\dots\dots = 7^{\text{me}}, 182$$

$$\text{B réservoir d'air} = \frac{h'}{H' - h'} V \dots\dots\dots = 12^{\text{me}}, 130.$$

A la seconde opération, B se trouvant déjà plein d'air à la pression effective de 1/4 d'atmosphère, il ne sera pas nécessaire de dépenser autant d'eau pour l'amener à la pression de 0^m,45. La dépense sera de :

$$A_1 = \frac{h'}{H} V = \frac{5}{4} V = 4^{\text{me}}, 150.$$

C'est cette dernière valeur $\frac{5}{4} V$ qu'il suffit de donner au volume du réservoir d'eau, parce que la pression initiale de 1/4 atmosphère est obtenue au moyen d'une cuvette supplémentaire faite une fois pour toutes.

Lorsque le voyage est terminé, il faut vider, comme on l'a dit, le réservoir A et alimenter de nouveau la cuvette C.

EMPLOI DE L'EAU FORCÉE.

L'obligation de partir avec de l'air comprimé à la pression de 0^m,45 de mercure, qui suppose une altitude de 6^m,41 de la cuvette, introduirait une gêne considérable dans le service.

Les locaux où sont installées les stations télégraphiques ne se prêteraient pas facilement à cet aménagement.

Paris est une ville de ressources : voici comment on a tourné la difficulté. Il y a dans tous les quartiers une abondante circulation d'eau distribuée par des conduits souterrains. Ces eaux, recueillies par des moyens divers, sont réunies dans d'immenses réservoirs disséminés sur les points hauts de la ville.

Tantôt ce sont des machines élévatoires qui puisent dans la Seine ou dans la Marne l'eau qu'elles envoient aux réservoirs, tantôt ce sont des aqueducs gigantesques qui y amènent les sources de la Champagne et de la Bourgogne. D'autres fois, c'est un canal qui apporte son tribut dans un énorme bassin, ou des puits artésiens dont on recueille les gerbes fumantes.

La canalisation qui alimente les rues et les maisons part des réservoirs et se ramifie comme les artères du corps humain. L'eau circule dans les conduits avec une vitesse d'autant plus grande que les réservoirs d'où elle émane sont plus élevés, autrement dit que la *charge* est plus forte. Une ouverture pratiquée en un point d'une conduite permet au liquide de jaillir. La hauteur du jet mesure la *charge* ou *pression* de l'eau *forcée*. Cette hauteur, évaluée en *colonne d'eau*, peut être transformée, d'après les explications données précédemment en *colonne de mercure*, en *kilogrammes par centimètre carré*, enfin en *atmosphères*.

Si le jet, au lieu de sortir à l'air libre, est lancé dans un récipient fermé et plein d'air à la pression atmosphérique, il y aura comme une sorte de combat entre les deux fluides : l'eau pénétrera à cause de l'excès de sa pression jusqu'au moment où, par la réduction du volume de l'air, celui-ci aura acquis une pression égale à celle de l'eau. L'équilibre s'établira alors, et il n'y aura plus de jet. Ceci posé, revenons à la *fig. 157* simplifiée comme on l'a exposé à la page 289 par la suppression du tube *nm*. L'emploi des eaux de la ville va nous fournir le moyen de la réduire encore. Il est évident, en effet, que si nous nous trouvons placés en un point de la conduite où la hauteur du jet soit précisément de 6^m,11, nous pourrions faire déboucher ce jet dans le vase A, où il produira le résultat qu'on obtenait par la chute du liquide de C au moyen du tube *pp* (*).

L'opération se terminera de même quand A sera rempli, et l'on aura accumulé en B une provision d'air à la pression d'une atmosphère effective.

C'est sous cette forme qu'ont été réalisés les premiers appareils de production d'air comprimé du télégraphe pneumatique.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

La faculté d'amener l'eau en pression dans le local où est établi le bureau a permis de réunir sur le même plan toutes les parties de

(*) Dans la pratique, pour que le remplissage ne soit pas trop lent, il faut que la pression de l'eau de la conduite soit notablement supérieure à la pression finale à donner à l'air; la pression de 6^m,11 suppose en réalité de l'eau à 10 ou 11 mètres.

l'appareil. La Pl. V représente une installation au rez-de-chaussée; en voici le détail :

A est un réservoir en forte tôle, d'une capacité de 4 à 5 mètres cubes. L'eau de la ville y est introduite par le tuyau HH' branché sur la canalisation de la rue; le robinet H permet de remplir la cuve ou d'arrêter l'introduction de l'eau. Il est manœuvré par un mouvement de rappel très-doux, afin d'éviter les *coups de bélier* qui se produiraient dans la conduite avec une fermeture trop brusque. Le réservoir une fois rempli, se vide dans l'égout par le tube VV' après qu'on a ouvert le robinet V. En même temps, il faut que la soupape T, par laquelle rentre l'air qui doit remplacer l'eau sortie, ait été ouverte au moyen de la tringle qui sert à la manœuvrer.

La tringle sert aussi à effectuer la manœuvre inverse de fermeture de la soupape quand on introduit l'eau dans le réservoir A pour faire de l'air comprimé. Un indicateur de niveau *i* et un manomètre *h* servant à mesurer la pression de l'air complètent le réservoir A.

L'air déplacé par l'eau est conduit du réservoir A dans les deux réservoirs BB, par le tube en fer *mm*. Ces deux réservoirs, chacun de 5 à 6 mètres cubes environ de capacité, communiquent entre eux ou peuvent être isolés l'un de l'autre au moyen du robinet U.

Ainsi agencé, l'appareil n'est autre que la fontaine de Héron après la dernière simplification qui a été exposée.

L'air comprimé une fois accumulé dans les réservoirs BB se dépense dans la ligne *fg* ou dans la ligne *f'g'* par l'intermédiaire des appareils E ou E' déjà décrits.

Les tubes en fer *pq* — *p'q'* établissent la communication de BB avec ces appareils; les robinets R et R₁, en s'ouvrant, servent à faire passer l'air comprimé dans la ligne.

Les tubes *cd*, *c'd*, commandés par les robinets R', R'₁, servent à l'échappement de l'air qui est à l'avant du train lorsqu'il arrive.

Enfin les manomètres *h*₁ et *h*₂, en communication avec les réservoirs BB, donnent pendant le voyage l'indication de la pression de l'air moteur; on suit avec ces instruments le progrès du train dans le tube.

Sur la tablette M sont disposés des appareils électriques servant à l'échange de signaux pendant le travail.

Un point a été omis dans cette description. Lorsque le réservoir A est rempli et qu'on veut renouveler la provision d'air comprimé en BB, il faut commencer par vider le réservoir A en ouvrant le ro-

binet V et la soupape T. Mais il reste en BB un excès de pression d'environ un quart d'atmosphère. Si la communication de BB avec A par *mm* restait libre pendant cette phase de l'opération, il serait impossible de maintenir l'excès de pression. Pour prévenir cet inconvénient, une soupape qui s'ouvre de bas en haut est disposée au-dessus du réservoir A dans la boîte S, à laquelle vient aboutir le tube *mm*. Cette soupape *de retenue* est soulevée, pendant la période de remplissage, par l'air que l'eau refoule et reste au contraire maintenue sur son siège pendant la vidange, par l'effet de la surpression dans les réservoirs BB.

ORGANES ACCESSOIRES.

Pour compléter la description de l'appareil représenté Pl. V, nous allons montrer en détail les pièces principales.

Conduites d'eau.

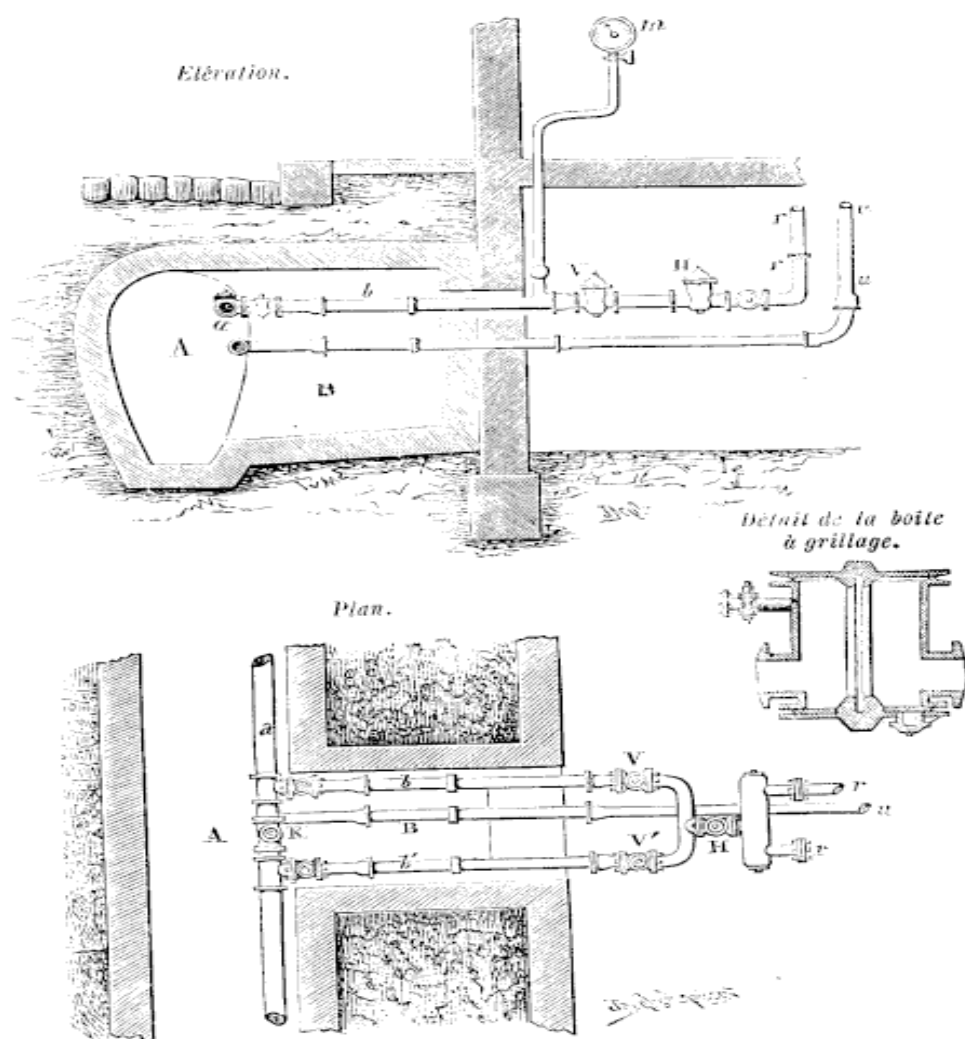
L'eau est prise sur les conduites publiques d'alimentation posées généralement dans les égouts. La *fig.* 159 représente la canalisation desservant un bureau. Un branchement d'égout B reçoit les tuyaux d'alimentation *b* et *b'* débouchant sur la conduite principale *a* de chaque côté du robinet d'arrêt K. Cette disposition permet l'alimentation facultative par l'amont ou l'aval de la conduite *a*, et assure le service en cas d'avarie sur l'une des sections. Les robinets-vannes V et V' donnent la communication nécessaire suivant le cas. Une boîte à grillage H est interposée sur le trajet commun pour arrêter les corps solides que l'eau peut charrier, et protéger les autres pièces de l'appareil. En quittant cette boîte, l'eau se rend par le tuyau *rr* dans le réservoir A (Pl. V). De même, le tuyau *uu* conduit à l'égout l'eau qui a servi à la production de l'air comprimé.

Un manomètre *m* donne à tout instant dans le poste l'état de la pression des conduites *b* et *b'* et fournit ainsi un contrôle des opérations.

On a représenté à part une coupe amplifiée de la boîte à grillage.

Fig. 159.

Conduites d'eau.

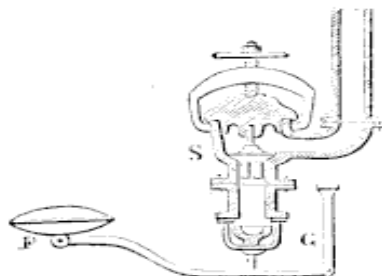
**Soupape de retenue.**

La soupape S de la Pl. V est destinée à maintenir un excès de pression dans les réservoirs BB, lorsqu'on vide la cuve à eau A. Pour cet effet, elle est disposée de façon à s'ouvrir de bas en haut, ainsi que le montre le dessin de la *fig. 160*.

On a représenté en outre un dispositif spécial pour empêcher la pénétration de l'eau dans les réservoirs BB par le tuyau *mn*. Au

cas où l'on ne fermerait pas à temps le robinet d'admission H, il y a une seconde soupape G, placée à l'intérieur du réservoir A, et dont la tige est mue par un flotteur F. Ce dernier suit le niveau de l'eau et appuie la soupape G sur son siège au moment opportun.

Fig. 160.

Soupape de retenue.

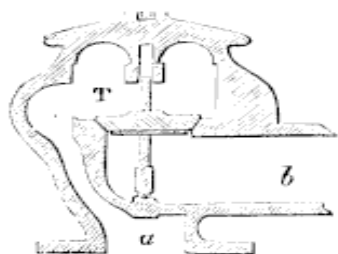
L'eau introduite accidentellement dans les réservoirs BB, ou qui s'y dépose par le refroidissement qu'occasionne la détente de l'air comprimé envoyé dans la ligne, peut d'ailleurs en être très-facilement retirée au moyen du purgeur x (Pl. V).

Si l'extrémité inférieure de ces réservoirs est accessible, il suffit d'un robinet pour opérer la vidange. Il n'est pas même nécessaire de placer le purgeur au point le plus bas; lorsque les réservoirs BB sont remplis d'air comprimé, la pression de l'air assure l'écoulement par l'orifice x placé en un point quelconque le plus accessible.

Soupape d'aspiration.

La soupape T, représentée Pl. V, se manœuvre avec une tringle.

Fig. 161.

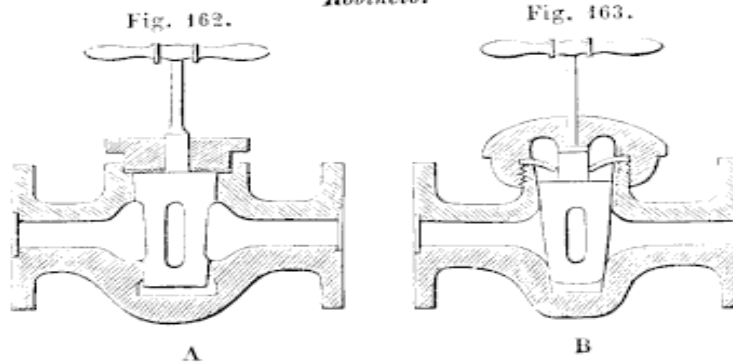
Soupape d'aspiration.

On peut même supprimer cette manœuvre par l'emploi d'une soupape automatique comme celle de la *fig.* 161.

Lorsque le vide se fait en a , la pression atmosphérique qui s'exerce par le tuyau b soulève le clapet; inversement, pendant la période de compression, la soupape est maintenue sur son siège par l'effet de la pression intérieure.

Robinets.

Les robinets employés doivent assurer une étanchéité absolue; on peut prendre indifféremment le type A ou le type B (*fig.* 162 et 163) qui produisent le résultat voulu.

Robinets.**Manomètres.**

Les manomètres installés à l'origine étaient à *air libre et à mercure* (fig. 164).

Fig. 164.
Manomètre à mercure.

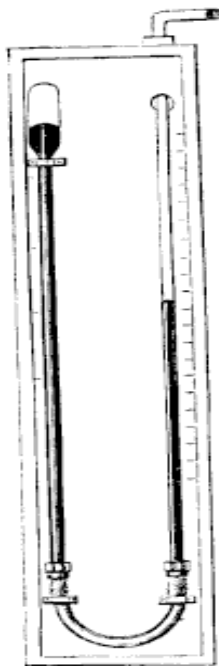
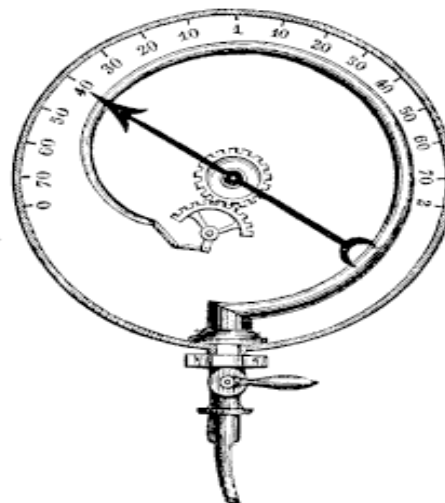


Fig. 165.
Manomètre métallique.



Depuis, on a trouvé avantage à employer des manomètres métalliques (fig. 165), dont l'entretien est nul ou à peu près, parce qu'ils sont moins fragiles et moins délicats que les premiers.

DISPOSITIONS DIVERSES SUIVANT LES LOCALS.

L'installation-type représentée Pl. V se modifie suivant les emplacements. Lorsqu'on ne dispose pas au rez-de-chaussée d'un local suffisant, ou lorsque la pression de l'eau est faible, on utilise avantageusement le sous-sol et les caves pour y placer les réservoirs BB et A. Il n'y a pas de difficultés pour l'agencement de la tuyauterie : la manœuvre des robinets H et V du réservoir A, au lieu de se faire au moyen de manivelles, s'opère par des transmissions faciles à imaginer dans la plupart des cas.

Il y a cependant une circonstance qui réclame une solution spéciale. S'il arrive que l'on soit forcé d'utiliser au sous-sol des pièces qui ne sont pas placées immédiatement dans la verticale de la salle des appareils de réception et d'expédition, que nous supposons au rez-de-chaussée, la commande des robinets H et V exécutée par transmissions ordinaires de la mécanique (arbres, chaînes sans fin, leviers articulés, engrenages, etc.) peut laisser à désirer.

Nous donnons Pl. VI le dessin d'une application de l'eau forcée à la transmission des mouvements, qui résout élégamment le problème. Cette solution a été imaginée par M. *Mérillot*.

Distributeur à tiroir. — C est une cave dans laquelle est placé le réservoir d'eau A ; les employés se tiennent dans la pièce D, il leur faut de cette pièce pouvoir remplir et vider le réservoir A qui produit l'air comprimé. La distribution de l'eau amenée par le tube *vv*, en communication avec la conduite municipale, et l'expulsion de cette eau s'opèrent au moyen de l'appareil renfermé dans la boîte M.

Cet appareil distributeur est disposé comme celui des machines à vapeur. Le tiroir T embrasse deux lumières *a* et *b* qui mettent en communication soit les tuyaux X et Y ou Y et Z. Pour cela il suffit que le tiroir se déplace dans le sens longitudinal. Le déplacement est obtenu par le moyen d'une tige *l* guidée par le piston P, qui se meut dans un corps de pompe.

L'employé commande le mouvement de ce piston, et il a ainsi la faculté de remplir ou de vider à volonté. C'est dans la commande de ce piston qu'intervient l'emploi de l'eau forcée. Le robinet R, placé

à portée de la main, est à quatre voies, et au moyen de permutations entre les quatre tubes 1, 2, 3, 4, assure les mouvements voulus. Remarquons en effet que les tubes 1, 2, 3, 4 viennent déboucher :

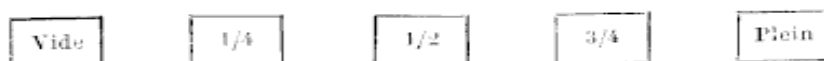
- 1 à l'arrière du corps de pompe,
- 2 sur le tuyau d'alimentation,
- 3 à l'avant du corps de pompe,
- 4 dans l'égout.

Ceci posé, examinons ce que va produire le mouvement d'un quart de tour donné au robinet R.

Au lieu de mettre en relation les orifices 2-3 et 1-4, nous mettons en relation 1-2 et 3-4; l'eau pénétrera à l'arrière du corps de pompe pour pousser le piston de gauche à droite, et pendant ce temps l'autre face étant en communication avec l'égout, il y aura un écoulement assuré de l'eau introduite dans l'opération précédente.

Le mouvement de gauche à droite du piston a pour effet de recouvrir entièrement la lumière *b* et de laisser pénétrer l'eau arrivant par Z dans le tuyau X; le réservoir s'emplit. Le mouvement inverse met X et Y en relation, le réservoir se vide et ainsi de suite.

Une question se présentait. Comment régler la manœuvre comme dans le cas de la Pl. V, où le niveau de l'eau du réservoir A est toujours apparent dans le tube indicateur? L'électricité a levé la difficulté : un tableau indicateur B, placé dans la salle des employés, porte cinq guichets auxquels apparaissent successivement les indications

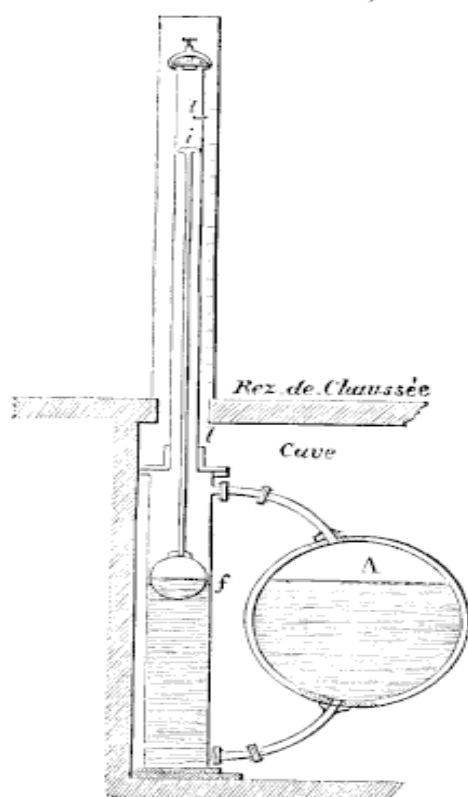


correspondantes à des niveaux différents de l'eau dans le réservoir. Ces indications sont obtenues par un procédé analogue à celui qui est usité pour les sonneries d'appartement. Cinq électro-aimants correspondant à chacun des guichets sont actionnés par le courant d'une pile, lorsque les armatures qui sont en face des boutons 1'-2'-3'-4'-5' sont attirées. L'attraction de ces armatures est déterminée par le passage au-dessous d'elles dans le tube I de l'aimant qui termine la tige ss.

Pour les lecteurs familiers avec ces sortes d'appareils, nous dirons

que le tube I à l'intérieur duquel se meut la tige ss terminée par un

Fig. 166.
Indicateur de niveau,



aimant, n'est autre que l'indicateur magnétique *Lethuillier-Pinel*, adapté aux chaudières à vapeur pour indiquer le niveau. Quant au mouvement de l'eau de haut en bas dans le réservoir, qu'il faut transformer en un mouvement de va-et-vient dans un sens perpendiculaire donné à la tige ss, c'est là un problème de cinématique que les leviers articulés *h*, guidés par le flotteur *f*, ont pour mission de résoudre.

Indicateur de niveau à flotteur. — L'indication du niveau de l'eau peut encore être donnée de l'étage inférieur à l'étage supérieur par la disposition de la fig. 166. Un flotteur *f*, portant une tige *I*, promène un index *i* sur une échelle divisée dont la graduation permet de suivre toutes les oscillations du niveau dans le réservoir.

En plaçant une pile et une sonnerie dans un circuit reliant le buttoir *t* au flotteur *f*, on est prévenu par le bruit du timbre du moment où il faut fermer l'admission, sous peine de faire déborder l'eau dans les lignes.

DEVIS D'UNE EXPLOITATION.

Dans les conditions d'installation précédemment décrites, on part avec de l'air à la pression de 0^m,45 (mercure) et l'on arrive avec une pression de 1/4 d'atmosphère derrière le piston à l'extrémité de la ligne. Le voyage sur un kilomètre s'effectue en *une minute et demie*.

La dépense d'eau correspondante se calcule aisément. On trouve qu'elle est égale dans cette hypothèse aux 5/4 du volume de la ligne, soit 4^m,450 environ par kilomètre parcouru.

L'eau étant payée à la ville à raison de 0',068 le mètre cube, la dépense d'un voyage est de $0',068 \times 4^{\text{m}},150 = 0',282$ (*).

Si l'on se reporte à la *fig. 142*, qui comprend *un réseau principal P et sept réseaux secondaires A, B, C, D, E, F, G*, desservant 33 bureaux au moyen de 39 sections de ligne, on trouve, en faisant le dénombrement des parcours, que leur nombre s'élève à :

$$\begin{array}{cccccccc} \text{P} & \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} & \text{E} & \text{F} & \text{G} \\ 6 & + & 7 & + & 5 & + & 6 & + & 7 & + & 5 & + & 5 & + & 5 & = & 46. \end{array}$$

Ce nombre 46, multiplié par 0',282, donne 12',97 pour la dépense d'un voyage complet sur toute l'étendue du réseau.

En admettant que le service soit prolongé chaque jour pendant 14 heures, à raison de 4 trains faisant un voyage complet par heure, on trouve que les 56 trains de la journée représentent une dépense d'eau de $12,97 \times 56 = 766',32$ par jour, soit une *dépense annuelle de 279.676',80*.

Pour établir le bilan de l'entreprise de la distribution de dépêches, il faut ajouter à cette dépense *l'amortissement des frais de première installation, le loyer des stations, les frais d'entretien et le traitement du personnel*.

<i>Frais de premier établissement.</i> — Canalisation d'une section de ligne,	
à 15.000 fr. par kilomètre, soit, pour 39 sections.	585.000 fr.
Installation d'un bureau. 15,000 fr., soit, pour 33 bureaux.	495.000

Ensemble. 1.080.000 (1)

L'amortissement, à raison de 10 p. 100 par an, représente. 108.000 (2)

Nous estimerons le *loyer annuel* d'une station à 3.500 francs.

Soit, pour 33 stations. 115.500 (3)

Les frais d'*entretien* et de *surveillance* sont largement comptés à 600 francs par an pour une section de ligne (y compris le matériel circulant), et 1.200 francs par an pour un bureau (y compris l'éclairage, le chauffage, les réparations et toutes les dépenses accessoires):

(*) La dépense kilométrique au moyen de chevaux et voitures peut être évaluée à 0',38. La durée du trajet étant de cinq minutes au moins par kilomètre, on voit qu'il y a un gain notable au profit des tubes pneumatiques.

Soit.	$600 \times 39 = 23.400$	
	$1.200 \times 33 = 39.600$	
Ensemble.		63.000 (4)

Le *personnel* de chaque bureau sera ainsi composé :

Un chef à 3.000 fr.	3.000 fr.
Deux employés à 2.000 fr.	4.000
Huit facteurs à 1.200 fr. (dont deux pour la manœuvre des appareils et six pour le port à domicile).	9.600
	16.600 fr.
Pour 33 bureaux.	$16.600 \times 33 = 547.800$ (5)

Récapitulons les sommes (1) (2) (3) (4) (5) :

Eau.	279.676,80	(1)
Amortissement de l'installation.	108.000,00	(2)
Loyer des stations.	115.000,00	(3)
Entretien et surveillance.	63.000,00	(4)
Personnel.	547.800,00	(5)
	<u>1.113.476,80</u>	

Si nous ajoutons à cette somme 1,10 pour frais généraux et imprévus, nous arriverons à un chiffre de

$$1.113.476^f,80 + 111.347^f,68 = 1.224.824^f,48 \quad (\text{A})$$

pour la *dépense totale annuelle de l'exploitation*.

Voyons quel pourra être le *produit*. Admettons une moyenne de 15.000 dépêches échangées par jour, ce qui ne dépasse pas assurément la capacité du réseau, puisque répartition faite dans les 56 trains, cela donne $\frac{15.000}{56}$ ou 267 dépêches par train, pour tout le réseau; à raison de 0^f,25 par dépêche, on obtient un produit annuel de

$$0,25 \times 15.000 \times 365 = 1.360.750 \text{ francs.} \quad (\text{B})$$

La comparaison des deux chiffres (A) et (B) fait ressortir un bénéfice de 132.925^f,52; donc l'entreprise est viable.

Notre tâche ne se borne pas à cette démonstration; nous retiendrons dans les chiffres précédents la somme (1) 279.676^f,80 qui représente la dépense d'eau annuelle, et nous nous demanderons s'il n'est pas possible de la réduire.

UTILISATION DU VIDE.

L'installation décrite à la Pl. V suppose le réservoir d'eau au rez-de-chaussée de la maison; il existe dans cette disposition, entre l'orifice V' du tuyau de vidange VV' et le radier de l'égout dans lequel vont se perdre les eaux du réservoir, une différence de niveau variable, qui atteint en général de 4 à 8 mètres.

Si l'on se reporte à l'expérience de Toricelli, dans laquelle le vide barométrique est obtenu en remplissant de mercure un tube, puis le retournant dans un vase également plein de mercure, on voit que la hauteur de 0^m,76 de mercure qui fait équilibre à la pression atmosphérique est, dans le cas où le liquide employé se trouve de l'eau, de 10^m,33. Par conséquent étant admis qu'on verse l'eau du réservoir A de la Pl. V par un tuyau VV' plongeant dans un puits de 10^m,33 de profondeur, on fera le *vide* barométrique dans le réservoir. Si la profondeur du puits est, par exemple, de 5^m,16 seulement, c'est-à-dire moitié moindre que dans le cas précédent, la pression de l'air qui rentrera par l'orifice V' pour prendre la place de l'eau, sera de 1/2 atmosphère.

Dans cette expérience, il faut que la soupape T reste fermée pendant la vidange, afin que l'air ne puisse rentrer dans le réservoir A que par l'orifice V'. L'agencement du tuyau VV' dans l'égout est très-simple. Il suffit d'envoyer l'extrémité *h* (*fig. 167*) dans une petite

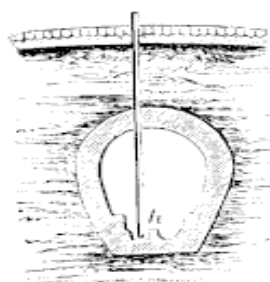
cuvette, pour rentrer dans les conditions de l'expérience de Torricelli.

Actuellement il est aisé de comprendre qu'ayant à sa disposition une capacité pleine d'air raréfié, à la pression de 1/2 atmosphère, on pourra mettre cette capacité en relation avec la ligne. Le piston et les boîtes seront aspirés et accompliront leur voyage par le jeu différentiel de la pression atmosphérique s'exerçant à l'arrière, et de la contre-pression due à l'air raréfié

qui existe à l'avant.

Les dimensions ordinaires de réservoir A et l'altitude de 4 à 8 mètres suffisent à une marche normale d'environ 4 à 600 mètres par minute.

Fig. 167.
Disposition du vide.
(Ligne).



L'effet d'aspiration du train est augmenté par l'enlèvement d'une partie de l'air du réservoir entraîné avec l'eau qui s'écoule. C'est le fonctionnement de la *trompe des forges catalanes*. Supposons une hauteur de chute de 5 mètres correspondant à 0^m,36 de mercure. l'air sera raréfié dans le réservoir d'eau à la pression de $(0,76 - 0,36) = 0,40$. Admettons que le voyage s'effectue dans 2 minutes, en partant de la pression 0^m,40 pour finir à la pression 0^m,69. Le volume à donner au réservoir d'eau est déterminé par la formule

$$v \times 0,76 + 0,40x = 0,69x;$$

$$v(\text{ligne}) = 3^{\text{m}},320,$$

d'où :

$$x = v \frac{0,76}{0,29} = 8^{\text{m}},700.$$

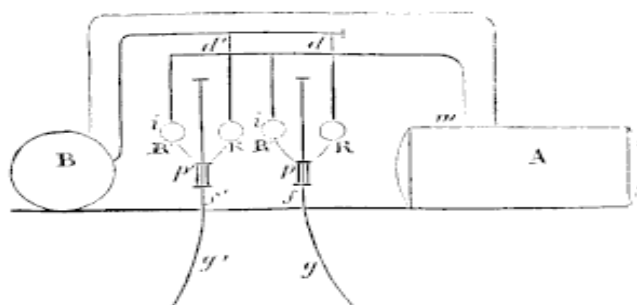
Si la capacité est de 4^m,450 (dimension normale), il faut qu'il y ait de l'air entraîné; le volume de cet air à la pression atmosphérique, qui se trouve entraîné, est de :

$$\frac{8^{\text{m}},700 - 4^{\text{m}},450}{0,76} \times 0,69 \quad \text{ou} \quad 4^{\text{m}},13.$$

C'est donc un gain immédiat d'une installation et d'une dépense d'eau sur deux dans le système de la *fig. 141*, puisqu'un bureau, le n° 9, par exemple, utilisera son eau deux fois : 1° pour comprimer l'air nécessaire au voyage 9-8; 2° pour raréfier l'air suffisant au voyage 10-9 (la cuvette de l'opération précédente, en se vidant, produira cet effet). Dans ces conditions, il ne sera pas nécessaire que les bureaux 10 et 6 soient pourvus d'appareils autres que les appareils de réception et d'expédition, si le vide peut être installé aux stations 9, 7 et 8.

Il y a d'ailleurs très-peu à changer au type de la Pl. V.

Fig. 168.
Disposition du vide.
(Poste).

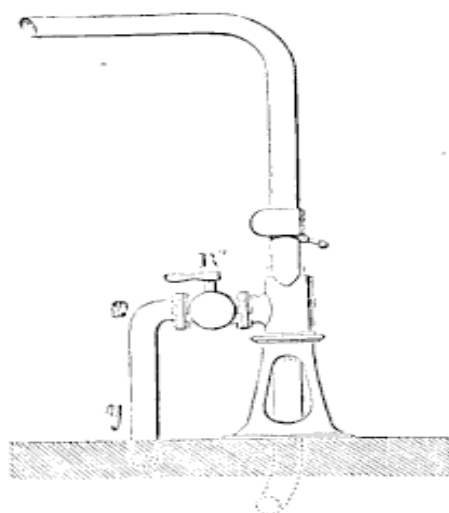


La *fig. 168* indique la modification. Les tuyaux d'échappement sont réunis par un tuyau *dd'* et prolongés jusqu'au réservoir A. Les robinets R et R' ne sont plus conjugués, ils se manœuvrent séparément : R pour envoyer par la pression, R' pour recevoir par le vide. Suivant le sens de la marche des trains, ils alternent avec R₁ et R₁'.

Avec cette disposition, lorsque les appareils servent à la réception au moyen de l'air comprimé de la station antérieure, l'échappement de l'air se fait par l'une des portes P et P'. Il est préférable de conduire cet air à l'extérieur, en le dirigeant soit dans une cheminée, soit dans une cave. La *fig. 169* représente un *appareil vertical* dans lequel, au moyen d'un tuyau *xy* fermé par le robinet R'', on fait échapper l'air qui est à l'avant du train dans le sous-sol du bureau.

Avec les appareils de *réception* et d'*expédition horizontaux*, on obtient toutes les permutations par les robinets T et T' des *fig. 155* et *156*.

Fig. 169.
Appareil vertical complet.



Ces robinets sont évidés et servent à mettre telle des lignes que l'on veut en rapport avec le *vide* ou la *pression*. Les légendes expliquent suffisamment ces figures.

En résumé, si l'on adopte pour les stations *de deux en deux* ce mode d'installation sur tout le réseau, on arrivera à une économie de moitié sur le chiffre de 279.676^l,80 représentant la *dépense annuelle d'eau* pour l'*exploitation*. Les frais d'établissement seront aussi diminués notablement. Le chiffre 495.000 fr. donné précédemment pour l'*installation* des 33 *postes* sera réduit d'un tiers au moins, ce qui produira un gain de 165.000 francs sur cette partie du devis.

INJECTEUR.

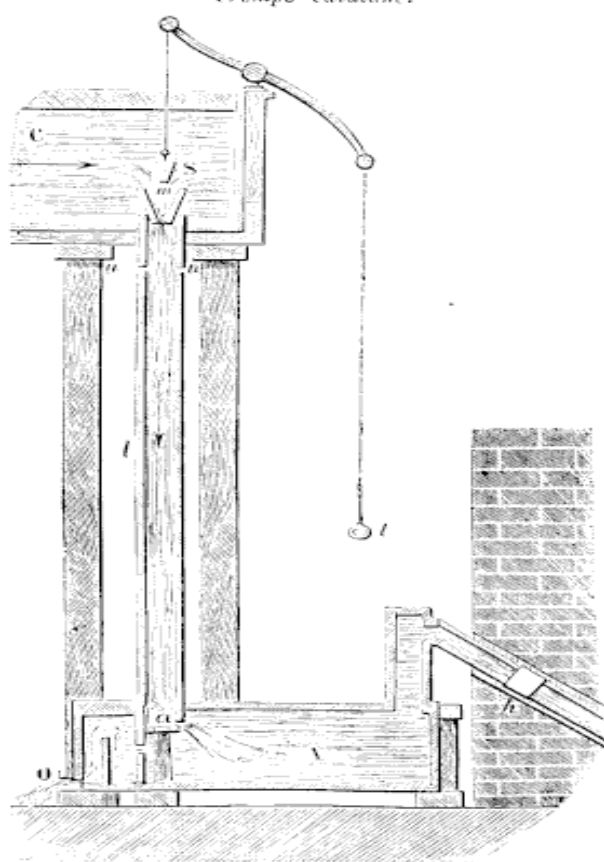
On peut améliorer le mode de compression d'air par déplacement décrit plus haut, en faisant servir une partie de la *force vive* du jet à *entraîner* de l'air puisé à l'atmosphère.

Cette application très-ancienne a été faite dans les hauts fourneaux

qui travaillent par la méthode dite des *forges catalanes*. L'air destiné à alimenter le haut fourneau est fourni à la tuyère par un appareil fort simple qui porte le nom de *trompe*. Il se compose d'un arbre creux *l* (*fig. 170*) recevant l'eau d'un canal par l'ouverture *S*. Un appel d'air pendant la chute de l'eau est produit par les orifices *n, n*, et le mélange d'air et d'eau vient se rendre dans la caisse *A*, en se brisant sur la table *a*. Le départ s'effectue dans la caisse, l'eau sort par l'orifice *o*, et l'air passe par la tuyère *h*.

Le principe posé, il restait à combiner un appareil approprié au télégraphe pneumatique. Les résultats obtenus avec l'injecteur *Giffard*

Fig. 170.
Trompe catalane.

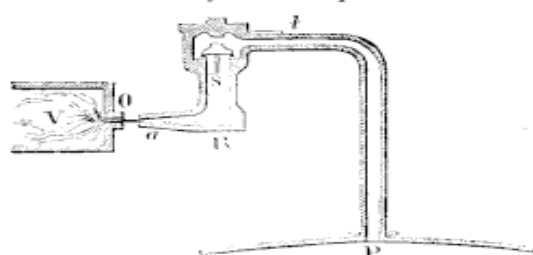


qui utilise la force vive de la vapeur en mouvement pour aspirer l'eau d'alimentation des chaudières, faisaient pressentir que l'on pouvait, par un effet analogue, entraîner de l'air avec de l'eau en mouvement.

Des expériences furent entreprises dans ce but au mois de mars 1868, par M. Worms de Romilly. Le résultat répondit aux prévisions ; les expériences furent répétées au mois de décembre avec les réservoirs du télégraphe, et l'on adopta la disposition suivante :

Le récipient (*fig. 171*), dans lequel s'accumulait l'air comprimé, se composait d'une cuve P de 8 mètres cubes de capacité ; l'eau arrivant des conduites de la ville par l'ajutage O pénétrait dans l'appareil R. Cet appareil, formé d'un tube conique divergent, n'est autre que la seconde moitié de l'injecteur Giffard, munie de la soupape de retenue S, qui s'oppose au retour de l'air comprimé dans le récipient P.

Fig. 171.
Injecteur simple.



Les expériences ont été variées en modifiant le diamètre et la forme de l'ajutage O, ainsi que la distance *oa* du tube divergent. On a déterminé de cette façon les meilleures conditions d'installation pour un *rendement maximum*. Il a été constaté que l'on pouvait *entraîner* et *introduire* dans les réservoirs, avec de l'eau à la pression de 11 mètres, une quantité d'air atmosphérique égale à 0,465 (*) du volume de l'eau. Dans ces expériences la pression finale du réservoir était de 4^m,21 de mercure.

Il est facile de se rendre compte de l'avantage réalisé par l'adoption de ce système. Par le *déplacement simple*, on produit une quantité d'air, à la pression atmosphérique, *égale au volume de l'eau employée* (c'est le principe des appareils Pl. V). Par le *déplacement combiné avec l'entraînement*, on obtient un volume d'air égal à 1.465 (le volume de l'eau étant 1), ce qui correspond à une économie d'environ 32 p. 100. La conséquence de ce progrès, c'est qu'il faudra une

(1) Il est à remarquer que la majeure partie de l'air est entraînée au début de l'opération, alors que la pression dans le réservoir est peu élevée.

quantité d'eau moindre pour desservir une ligne de capacité donnée; on pourra donc réduire les dimensions du réservoir.

Sous une autre forme, on peut dire encore qu'avec des réservoirs de la capacité primitive, on aura un excès d'air comprimé, qui pourra servir au voyage suivant ou être employé sur une deuxième ligne.

Il est vrai que le perfectionnement réalisé ci-dessus est en opposition avec l'utilisation du vide qui, dans les conditions ordinaires de l'installation, exige pour faire effectuer un voyage complet au train, toute l'eau introduite par le procédé du déplacement. Si l'on veut employer concurremment les deux procédés dans les conditions les plus avantageuses, la combinaison suivante peut être adoptée :

La *fig. 142* montre que la disposition donnée au réseau comprend des stations à 2, à 3, à 4 et à 5 directions. On appliquera l'utilisation du vide et le mode de *compression par le déplacement* seul aux stations à 2 directions et de *deux en deux*, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut. On réservera l'usage des *injecteurs* aux stations à un plus grand nombre de directions, et l'on s'arrangera par exemple pour qu'un réservoir alimenté de cette façon desserve *deux* lignes par la *pression* et *une* ligne par le *vide*. Il est impossible de préciser davantage en cette matière; les circonstances locales détermineront toujours la solution.

Il nous reste à indiquer la réalisation pratique du système de l'*injecteur* en donnant le dessin de l'appareil complet pour un poste, représenté *fig. 172* et *173*. P est le récipient dans lequel on comprime l'air; il peut être alimenté par introduction directe de l'eau de la conduite A au moyen du robinet R. Lorsqu'on veut faire fonctionner l'injecteur, on ferme R et l'on ouvre le robinet r. Il permet à l'eau de passer de la conduite A, par le tube CCD, dans la boîte E qui divise l'eau se rendant aux tubes divergents TT. Sur la *fig. 173* ces tubes sont au nombre de 6, afin de donner un débit en rapport avec la durée assignée au remplissage de la cuve.

GG sont des entretoises réunissant la boîte E à la boîte H qui reçoit l'eau et l'air entraîné. De la boîte H le mélange d'eau et d'air passe par la boîte à clapet I et le tuyau KK, dans le réservoir P. La boîte à clapet I est disposée comme dans la *fig. 173*; elle renferme la soupape de retenue S qui s'oppose au retour de l'air comprimé. Les entretoises GG servent à régler la position de la boîte E par rapport aux

Fig. 172.
Injecteur multiple.
(Élévation.)

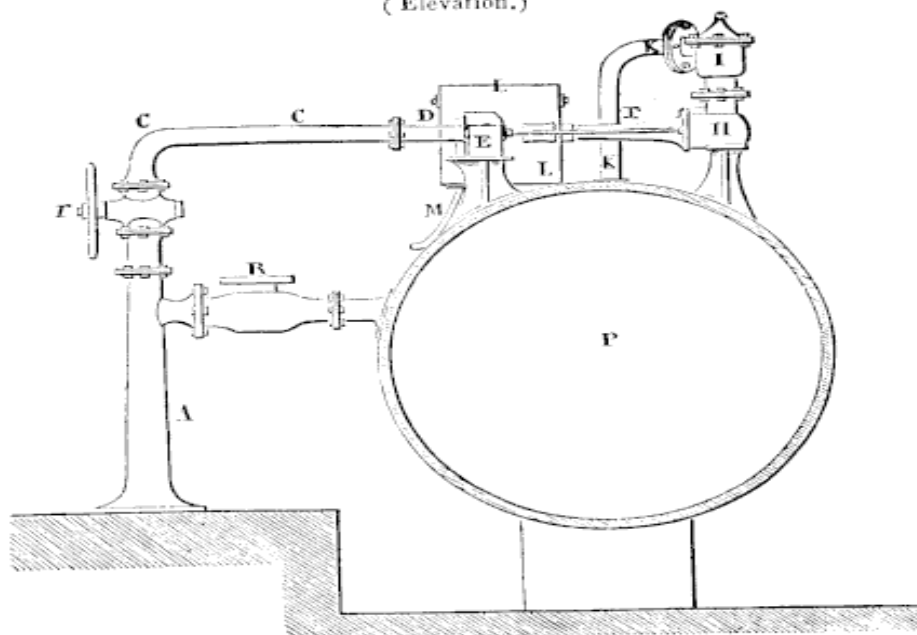
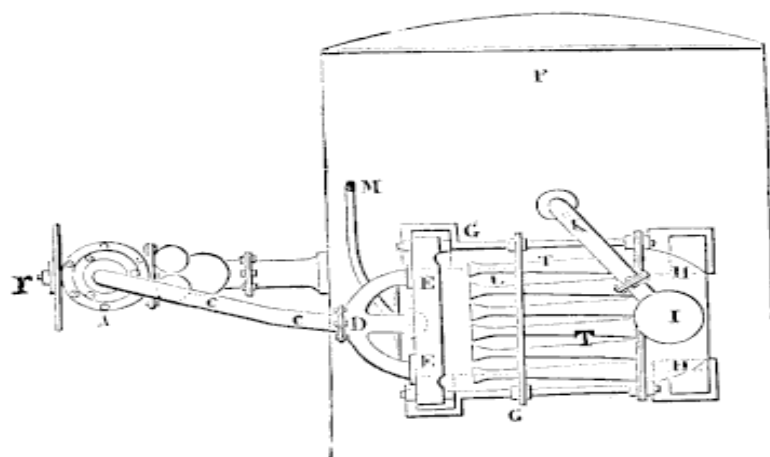


Fig. 173.
Injecteur multiple.
(Plan.)



tuyères TT, afin d'obtenir le degré d'écartement qui donne le meilleur rendement. LL' est une boîte de prise d'air entourant la boîte E; elle sert en outre à recueillir l'eau projetée par les tuyères au moment de la mise en marche de l'appareil et la conduit à l'égout par le tuyau M.

COMPARAISON DES TROIS SYSTÈMES.

Si nous récapitulons les résultats acquis, nous voyons que la *dépense* d'un voyage d'un kilomètre s'évalue ainsi dans chacun des trois modes décrits :

Procédé du déplacement seul :

$$0^r,068 \times 4^{mc},450 = 0^r,282. \quad (1)$$

Procédé de déplacement combiné avec l'utilisation du vide :

$$\frac{0^r,068 \times 4^{mc},450}{2} = 0^r,141. \quad (2)$$

Procédé de déplacement combiné avec l'entraînement :

$$0^r,068 \times 4^{mc},450 \times (1 - 0,32) = 0,191. \quad (3)$$

Le premier mode devra être abandonné ; on emploiera le second ou le troisième suivant les circonstances locales qui détermineront dans chaque cas les combinaisons les plus avantageuses.

COMPRESSION ET RARÉFACTION DE L'AIR AU MOYEN DE POMPES ACTIONNÉES PAR DES TURBINES.

Après ces diverses tentatives, on a abordé le mode d'utilisation de l'eau par des *turbines*. L'air comprimé ou raréfié est produit dans ce système au moyen de *pompes*. On a eu pour but dans cet essai de profiter de la propriété des *régulateurs*, afin de modérer la dépense d'eau suivant le travail à effectuer. On sait que la compression et la raréfaction dépensent un travail variable : pour introduire un litre d'air dans un réservoir, il faut développer d'autant plus d'effort que la pression dans le réservoir est plus élevée. Inversement, le travail mécanique pour extraire un litre d'air d'un réservoir est d'autant plus grand que la pression dans le réservoir est plus basse.

C'est là une considération dont ne tiennent pas compte les procédés précédemment décrits. Au début comme à la fin de l'opération dans le procédé de *compression par déplacement*, c'est la même quantité

d'eau qui est nécessaire pour introduire un litre d'air dans le réservoir; c'est par conséquent le même travail moteur dépensé, bien que dans l'intervalle la résistance à vaincre ait été en croissant. L'*entraînement combiné avec le déplacement* compense un peu cette perte de force, puisqu'il se produit surtout pendant la période des basses pressions du réservoir, mais la compensation ne se fait pas exactement. Dans l'*utilisation de la chute pour faire le vide* et aspirer les dépêches, l'eau cède la place à l'air de la ligne; pour un litre d'eau qui tombe, la quantité d'air extraite de la ligne va en décroissant du commencement à la fin de la vidange (*).

Le *régulateur* de la *turbine* obéit aux variations de vitesse du récepteur; il diminue ou augmente la section du conduit qui amène l'eau et produit dans la vitesse du moteur des variations correspondant à celles des pompes.

Avec la turbine, le rendement en air comprimé ou dilaté peut atteindre environ 50 p. 100 (dont 0,70 pour les pompes et 0,72 pour la turbine). Traduisons ce résultat pour comparer la dépense du voyage dans ce système avec celle des trois systèmes précédents.

Cas de la compression. — Le voyage s'effectue avec de l'air qui a un excès de pression de 0^m,45 au départ, de 0^m,19 à la fin.

La capacité du réservoir d'air, pour une ligne de 4 kilomètre, est de 12^m,130.

Pour élever 12^m,130 d'air de la pression (0,76 + 0,19) à la pression (0,76 + 0,45), il faut y verser un cube d'air à la pression atmosphérique égal à 4^m,150. Le travail nécessaire pour introduire ces 4^m,150 dans le réservoir d'air à la pression moyenne $\frac{0,45 + 0,19}{2} = 0,32$,

au moyen de pompes, est donné par le calcul. Lorsqu'on effectue ce calcul, on trouve pour la valeur du travail produit 14.911 kilogrammètres (**).

Ce nombre représente le travail utile des pompes actionnées par la turbine; par suite, le rendement étant admis de 50 p. 100, cela

(*) L'entraînement qui se produit aussi dans ce cas à l'extrémité du tuyau, croît du commencement à la fin. Ce travail supplémentaire tend à rétablir la proportion entre le travail moteur et le travail utile, la compensation toutefois demeure imparfaite.

(**) La formule qui donne le travail de la compression est :

$$10330 \times 4,150 \times \text{Log} \frac{0,76 + 0,32}{0,76}.$$

suppose un travail moteur de $2 \times 14.911 = 29.822$ kilogrammètres et un volume d'eau à 11 mètres de pression de $\frac{29.822}{11} = 2^{\text{me}}, 711$.

Tel est le chiffre qu'il nous faut multiplier par 0',068, prix du mètre cube d'eau, pour avoir la dépense d'un voyage par compression dans le système de la turbine :

$$2^{\text{me}}, 711 \times 0', 068 = 0', 184. \quad (4)$$

Nous avons trouvé :

Pour le cas du <i>déplacement seul</i>	0', 282 (1)	} La hauteur de l'eau étant de 11 mètres.
Pour le cas du <i>déplacement combiné avec l'entraînement</i>	0', 191 (3)	

Rappelons que l'exploitation annuelle représente, à raison de 46 parcours par train et de 56 trains par jour, un total de 940.240 *kilomètres*; l'économie de $(0,191 - 0,184) = 0', 007$ par voyage donne un chiffre annuel de 6.581', 60.

C'est avec intention que nous n'avons pas comparé la *dépense de turbine* 0', 184 (4) avec la dépense du *déplacement combiné avec l'utilisation du vide* 0', 141 (2). Dans ce dernier cas, en effet, le succès repose sur l'existence d'une chute de 5 mètres au moins à partir du robinet de vidange du réservoir d'eau. C'est donc en réalité une hauteur totale de 16 mètres qu'on a à sa disposition. Appliquant à une turbine disposée de façon à utiliser la chute entière, on trouve que le volume d'eau à 16 mètres donnant le travail de 29.822 kilogrammètres, n'est plus que de $\frac{29.822}{16} = 1^{\text{me}}, 863$, et par suite le prix du voyage est réduit à

$$0', 068 \times 1^{\text{me}}, 863 = 0', 126. \quad (4')$$

La turbine appliquée à la compression de l'air réalise donc l'économie annoncée.

Un autre avantage qu'elle présente sur les systèmes précédents, c'est qu'elle permet, avec des dimensions convenables données aux pompes et aux divers mécanismes, d'augmenter la pression initiale de l'air, et qu'elle fournit aussi le moyen d'obtenir des vitesses de marche plus considérables. Avec de l'air à la pression de 1 atmo-

sphère effective au départ, on atteint la vitesse de 1 kilomètre par minute.

Cas de l'aspiration. — Nous avons supposé, dans le cas où le voyage s'effectue par aspiration, que l'on part avec de l'air à la pression de 0^m,40 pour arriver avec de l'air à la pression de 0^m,69. Dans ces conditions, le volume à donner au réservoir est de 8^m,5. Le réservoir étant originairement plein d'air à la pression atmosphérique, la quantité enlevée au moyen de pompes sera, à chaque coup de piston, égale à la capacité du corps de pompe (la pression étant celle du réservoir).

La pression moyenne du réservoir est de $\frac{0,76 + 0,40}{2} = 0,58$.

Pour abaisser la pression dans le réservoir de 0,76 à 0,40, il faut en extraire un cube d'air mesuré sous la pression moyenne égal à $\left(8^{\text{m}},7 \times \frac{0,76 - 0,40}{0,58}\right)^{(*)}$.

Le travail à effectuer par la pompe est la différence entre le travail de la pression atmosphérique égale à 0,76 et celui de la pression moyenne 0,58.

Il a pour mesure le produit du volume $\left(8,7 \times \frac{0,76 - 0,40}{0,58}\right)$ par la différence (0,76 — 0,58), soit 0^m,48 convertie en mètres de hauteur d'eau, ou 2^m,44.

En effectuant le calcul, on trouve pour l'expression du travail utile de la turbine 13.176 kilogrammètres, ce qui correspond à un travail moteur double 26.252 kilogrammètres, soit à une quantité d'eau avec 16 mètres de chute égale à $\frac{26.252}{16} = 1^{\text{m}},640$. Le prix d'un voyage, dans ces conditions, est de $1^{\text{m}},640 \times 0',068 = 0',11$ (5).

Pompes.

On a préféré les pompes à eau afin d'atténuer les effets de l'échauffement sur les garnitures. Celles que représentent la Pl. VII sont doubles : l'un des corps A fournit l'air comprimé, l'autre A₁ l'air

(*) Ce volume est donné par la formule

$$0,58x + (8,7 \times 0,40) = (8,7 \times 0,76).$$

raréfié; cette inversion se produit par le jeu des clapets a, a', a_1, a'_1 d'aspiration et p, p', p_1, p'_1 de refoulement. Les soupapes p et p' conduisent l'air comprimé au réservoir qui le contient, les soupapes a_1, a'_1 puisent l'air atmosphérique dans le réservoir où l'on veut faire le vide. Les autres clapets a, a', p_1, p'_1 communiquent avec l'atmosphère.

Les pistons P et P_1 sont garnis de segments en bronze; le mouvement alternatif leur est communiqué par le cadre *tucx* solidaire des bielles *mnpq* liées à la transmission de la turbine.

Ce système dessert un poste comme le n° 10 de la *fig.* 141; les dimensions sont telles que l'on fait l'air raréfié suffisant pour aspirer les dépêches sur la section 7-10 et l'air comprimé pour les refouler consécutivement dans les deux sections 10-9, 9-8.

La marche est de 22 coups par minute, les volumes respectifs A et A_1 de 38 et 34 litres.

Des tubulures non représentées sur la figure permettent l'alimentation facultative des pompes au moyen de robinets lorsque l'eau vient à manquer.

Turbines.

On a utilisé des turbines du type dit à *libre déviation*, c'est-à-dire dans lesquelles la veine liquide agit comme le ferait un filet isolé dont la vitesse d'entrée est due à la hauteur de la charge d'eau existant sur les orifices. Le nombre des orifices qui peuvent être alimentés est variable suivant le travail que doit fournir la machine; il est déterminé à chaque instant par le jeu d'un régulateur à *force centrifuge* qui déplace un obturateur.

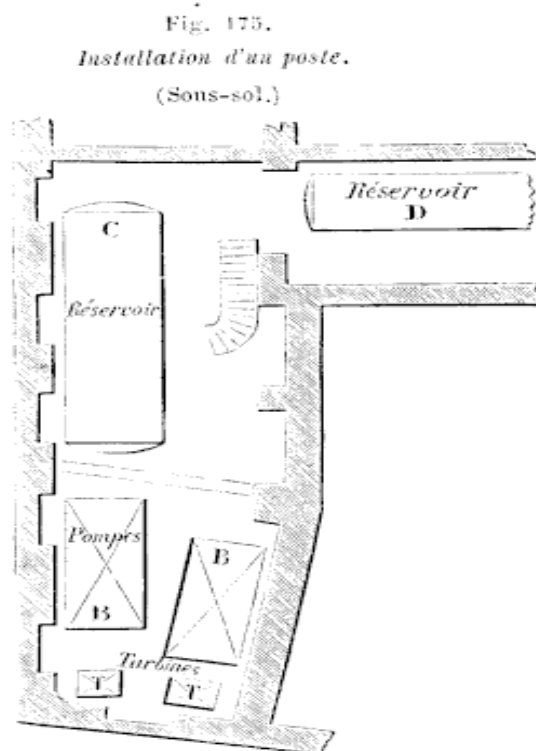
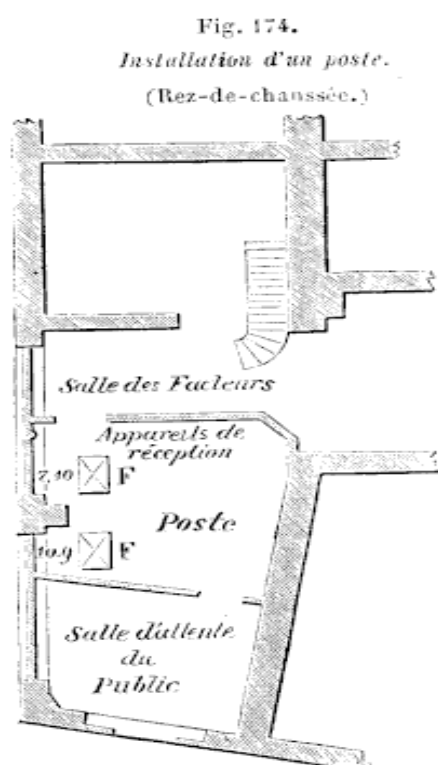
Nous donnerons une description de la Pl. VI^{II}. L'eau arrive dans la turbine par l'orifice O , se répand par les auges directrices M dans la roue motrice N , qui se met à tourner entraînant l'arbre yz . Avec une chute de 12 mètres, une turbine du modèle représenté, ayant 0^m,600 de diamètre, fait 245 tours par minute, et débite 49 litres par seconde lorsque 10 orifices sont alimentés (c'est le nombre maximum pour ce type). La vitesse de 245 tours par minute est réduite à celle de 22 tours que reçoit la bielle des pompes par les roues dentées et pignons successifs a, b, c, d . Sur la dernière roue d s'attachent les articulations q et n des bielles *pq* et *mn* des pompes.

Le régulateur R , qui reçoit le mouvement de la roue b , obéit aux

variations de vitesse et fait tourner dans un sens ou dans l'autre la roue l par l'intermédiaire des deux roues d'angles alternantes f et f' . Le sens de la rotation de la roue l détermine l'avance ou le recul de la plaque de recouvrement d , qui ouvre un plus ou moins grand nombre d'orifices à l'échappement de l'eau.

Installation d'un poste.

Après ces explications, il nous reste à grouper les éléments de l'installation pour donner l'idée d'un poste complet. Les *fig. 174* et *175*



représentent deux étages d'un local dans lequel fonctionne le mode de compression et de raréfaction par des turbines pour desservir trois sections 7-10, 10-9 et 9-8. C'est le local du poste n° 10, *fig. 142*. Le sous-sol contient les turbines T , les pompes B et les réservoirs C et D de pression et de vide, avec les tuyaux de communication nécessaires.

Au rez-de-chaussée sont les appareils de réception E et F aboutis-

sant aux lignes 7-10 et 10-9; l'air raréfié ou comprimé est amené par des tubulures spéciales.

Le dessin représente deux turbines et deux paires de pompes; on a eu en vue un service continu; les machines se suppléant, les réparations peuvent être effectuées sans interruption dans l'expédition des trains.

Enfin, pour reporter la manœuvre dans le poste même, des arbres de transmission commandent les robinets placés sur les conduites d'alimentation. Il suffit de fermer ou d'ouvrir ces robinets pour arrêter ou reprendre la fabrication de l'air comprimé ou raréfié, suivant les besoins de la consommation.

EMPLOI DE LA VAPEUR.

L'eau de l'Oureq n'a pas à Paris la même pression dans tous les quartiers. Lorsqu'on s'élève à la hauteur du bassin de *la Villette*, alimenté par cette rivière, il faut renoncer à l'eau forcée, à moins qu'on ne prenne d'autres qualités (l'eau de la Seine, celle de la Dhuis, etc.), mais le prix est double, triple du prix de la première. Ici il n'y a pas à hésiter, il faut recourir aux machines à vapeur.

D'ailleurs, plus on s'éloigne du centre de la ville, plus on pénètre dans la région industrielle dans laquelle l'établissement de ces sortes de machines ne rencontre plus d'objection.

Nous avons fait ainsi un nouveau pas dans la voie de l'économie. Il est facile, en effet, de se convaincre que la dépense d'un voyage dans le système qui consiste à faire actionner les pompes de l'installation précédente par des machines à vapeur est notablement réduite. Partons toujours des données acquises; le travail nécessaire pour comprimer l'air qui fournit un voyage est de 14.911 kilogrammètres. L'intervalle supposé des trains étant de 15 minutes ou de $15 \times 60 = 900$ secondes, le quotient $\frac{14.911}{900} = 16^{\text{m}},56$ représente le travail que doit fournir la machine par seconde. Or, l'unité, le *cheval-vapeur*, correspondant à 75 kilogrammètres par seconde, on voit, en divisant 16,56 par 75, que c'est 0,22 de cheval-vapeur que représente le travail utile à fournir par les pompes.

La proportion du travail utile au travail moteur, c'est-à-dire le rendement des pompes étant admis de 0,70, on trouve, en effectuant

le quotient $\frac{0,22}{0,70} = 0,31$, qu'il faut environ $1/3$ de cheval-vapeur pour fournir le travail de compression à l'air qui se dépense dans un voyage.

La dépense en charbon d'une machine à vapeur étant évaluée à raison de 3 kilogrammes par cheval et par heure, c'est pour $1/3$ de cheval 1 kilogramme par heure, et par quart d'heure, temps de marche pris pour type, $1/4$ de kilogramme. Au prix de 45 francs la tonne, cela donne une dépense de $\frac{0,045}{4} = 0',012$ par voyage.

Mais la dépense du charbon n'est pas la seule d'une machine à feu, il faut un chauffeur, de l'eau d'alimentation, de l'huile; outre cela, il y a à tenir compte d'un entretien assez dispendieux. Lorsqu'on compare dans le devis d'une exploitation la proportion de la dépense du charbon à la dépense totale, on trouve un chiffre variant du $1/3$ au $1/4$. Prenons ce dernier nombre, et nous aurons dans le nombre $0',012 \times 4 = 0',048$ (6), le terme de comparaison avec les chiffres cités plus haut, pour les dépenses, soit avec le procédé de déplacement simple ou modifié (*).

Retenant seulement le chiffre $0',126$ (4'), qui s'applique au cas de la compression avec une turbine se mouvant sous une charge de 16 mètres, on reconnaît que la vapeur coûte 2,5 fois moins que l'eau de l'Oureq utilisée dans les meilleures conditions possibles.

Pour avoir l'idée d'une installation de machine à vapeur, il suffit de se reporter aux *fig.* 174 et 175. On se rend aisément compte de la modification que comporte l'emploi de ces moteurs qui remplacent dans ces figures les deux turbines T et T'. Avec certaines dispositions de locaux on peut être conduit à placer la fabrication d'air comprimé dans un bâtiment voisin de celui où sont installés les appareils de réception et d'expédition. Une canalisation d'air comprimé et d'air raréfié relie les deux établissements.

(*) Les calculs successifs que nous présentons pour évaluer la dépense d'exploitation ne tiennent pas compte du premier établissement; l'amortissement de cette dépense doit être fait cependant dans la balance générale de l'entreprise.

CHAPITRE IV.

TRACTION.

UTILISATION DE L'AIR COMPRIMÉ.

Après avoir cherché à réduire de plus en plus le prix de l'unité de dépense kilométrique, il est intéressant d'examiner la question sous une autre face.

Nous effectuons un transport avec l'air comprimé pour remorqueur. Comparons donc notre opération avec des similaires dans l'industrie : sur une route ordinaire, une force de tirage représentée par 4 mène une charge représentée par 30, d'où le rapport de la

force de tirage à la charge. $\frac{4}{30}$

Sur un chemin de fer (avec la vitesse de 48 kilomètres à l'heure), ce rapport devient. $\frac{4}{100}$

Sur un canal, le rapport n'est plus que de. $\frac{4}{1.000}$

Nous avons ainsi le moyen de déterminer la proportion dans le cas qui nous occupe.

Partir avec de l'air à la pression effective 0^m,45 de mercure pour arriver avec de l'air à la pression 0^m,49, c'est travailler à la pression moyenne $\frac{0,45 + 0,49}{2} = 0,32$ correspondant à 0^{kg},434 par centimètre carré, soit à 44 kilogrammes sur la section de 0^m,0032 environ qui est celle du piston.

Ces 44 kilogrammes seront, si l'on veut, la force de tirage; le poids moyen d'un train composé de dix boîtes étant de 4 kilogrammes, le rapport devient $\frac{44}{4}$, c'est-à-dire qu'il est compris entre 3 et 4.

Ce résultat est surprenant : la vitesse, il est vrai, est quelque chose, mais remarquez qu'elle ne dépasse pas dans le tube atmosphérique celle du chemin de fer, et que dans ce cas le rapport est en faveur de ce dernier comme 300 ou 400 sont à 1.

Analysons ce phénomène, et peut-être dans l'avenir nous sera-t-il permis de réaliser quelque économie, connaissant bien les points faibles de notre application.

Voilà 44 kilogrammes agissant pendant tout le voyage sur le train ; dans un trajet de 1.000 mètres, c'est 44.000 kilogrammètres (*) de travail moteur employé au transport. Ce travail se dépense en route et se retrouve intégralement dans les divers éléments ci-dessous :

1° Frottement du train ;

2° Force vive du train ($1/2$ produit de la masse par le carré de la vitesse) ;

3° Force vive de l'air ;

4° Travail de la pesanteur ;

5° Frottement de l'air.

Évaluons successivement chacun d'eux :

1° *Frottement du train*. — Nous supposons qu'on l'a déterminé au moyen de l'angle de frottement, c'est-à-dire par l'inclinaison du tube à partir de laquelle le train abandonné à lui-même commence à glisser ; si l'on admet 30° pour cette inclinaison, le calcul donne pour la valeur de la force qui représente le frottement 2 kilogrammes (**); soit, pendant 1.000 mètres, un travail de 2.000 kilogrammètres (1).

2° *Force vive du train*. — C'est, avons-nous dit, le $1/2$ produit de la masse par le carré de la vitesse. Nous avons admis une vitesse moyenne de 11 mètres par seconde, le calcul donne pour ce terme (***) 24 kilogrammètres (2).

(*) On retrouve le nombre auquel nous a conduit une autre série de considérations basées sur le travail de l'air (14.911 kilogrammètres).

(**) Le frottement a pour valeur $P \sin \alpha$, P étant le poids, α l'angle de frottement ; dans ce cas $4^{\text{ks}} \times \sin 30^\circ = 4^{\text{ks}} \times 1/2 = 2^{\text{ks}}$.

(***) La force vive $1/2 mv^2$ (m étant la masse égale au quotient du poids P par l'accélération g de la pesanteur), devient, lorsqu'on fait les substitutions numériques,

$$1/2 \frac{4}{9,81} \times 11^2 = 24^{\text{ksm}}.$$

3° *Force vive de l'air*. — En effectuant les opérations indiquées dans la note (*), on obtient 37 kilogrammètres (3).

4° *Travail de la pesanteur*. — Il est peu important, car il s'agit en général d'un transport à peu près horizontal. Cependant, pour ne pas le négliger, admettons qu'il y ait une dénivellation totale de 10 mètres dans l'ensemble du parcours, nous obtiendrons une évaluation maximum en totalisant le poids de l'air et celui du train, soit $6^k + 4^k = 10^k$, et, en multipliant ce poids par 10 mètres, on trouve 100 kilogrammètres (4).

5° *Frottement de l'air*. — Nous l'estimerons à la manière des chimistes dans leurs dosages par différence, faute des bases précises de calcul qui seront expliquées seulement dans le résumé des expériences. Totalisant les nombres (1), (2), (3), (4), on trouve 2.161 kilogrammètres.

Retranchant ce nombre de 44.000 kilogrammètres, on attribue pour valeur au frottement de l'air 11.839 kilogrammètres (5). C'est, avec le frottement du train, l'effet nuisible le plus important : aussi c'est à ces deux termes que nous nous attaquerons plus tard lorsque nous voudrons faire encore un pas en avant.

Le mode d'expédition par le vide comporterait des observations analogues ; nous ne les répétons pas.

Sans quitter le sujet, notons au passage une idée qui n'est peut-être pas chimérique. Un système de *rails* étant établi dans une galerie, ne peut-on pas concevoir une petite *locomotive* fonctionnant seule pendant le parcours de un ou deux kilomètres et remorquant à l'air libre un convoi de *dépêches*, au besoin une machine *électromagnétique* produisant ce résultat ? Nous posons la question aux inventeurs.

(*) Dans la formule $1/2mv^2 = 1/2 \frac{p}{g} v^2$, p représente le poids de l'air remplissant le tuyau ; le volume étant de 3.320 litres au kilomètre, le poids d'un litre d'air étant de 1^{re},82 (à la pression moyenne absolue 0,32 + 0,76), on a $p = 6^k,042$; d'où $1/2 \frac{p}{g} v^2 = 37$ kilogrammètres.

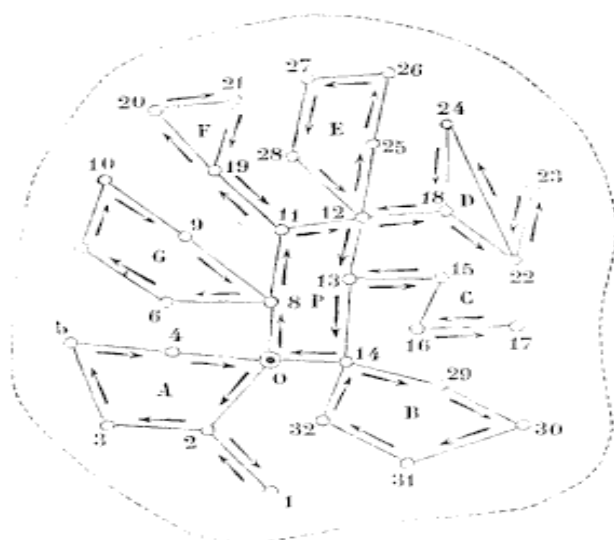
CHAPITRE V.

EXPLOITATION.

MARCHÉ DES TRAINS ET MOUVEMENT DES DÉPÊCHES.

A la station centrale O (*fig. 176*), les appareils électriques en cor-

Fig. 176.



respondance avec le monde entier apportent incessamment de nouvelles dépêches. Un employé plie la feuille de papier et la met dans une enveloppe dont la suscription doit reproduire fidèlement le nom du destinataire.

A huit heures du matin, le travail commence.

Les boîtes sont prêtes : un bordereau d'expédition accompagne le paquet destiné à chaque bureau, le tube est là ; une bouffée d'air, et le premier train est lancé, le *circulus* commence.

Sur les polygones fermés, les trains cheminent alternativement dans chaque sens pendant un trimestre. On évite ainsi l'obstruction du tube en contrariant les dépôts de poussière de cuir ou de rouille résultant de la circulation même. En hiver, les boîtes arrivent toujours plus mouillées qu'en été ; l'air fourni aux tubes et puisé dans les bureaux étant alors échauffé, dépose la vapeur d'eau dont il est saturé, lorsqu'il passe dans les conduits souterrains qui sont à une température plus basse. On atténue cet inconvénient en disposant

les réservoirs et la prise d'air dans les caves quand cela est possible.

Suivons le train parti de O et arrivant à la station 8, avec un bruit saccadé. Nous y trouvons en tête une boîte renfermant les dépêches à distribuer dans la circonscription de cette station et celles qui vont aller aux stations 6, 7, 10, 9. Nous échangeons cette boîte contre une autre emportant les dépêches déposées en 8 ou en 6, 7, 10, 9 que le train précédent du réseau G a amenées, et nous engageons sur 8-11 le train complet qui va continuer sa route en se renouvelant sans cesse. Afin de mettre de l'ordre dans la distribution, on donne aux dépêches les numéros d'une série diurne distincte pour chaque bureau. Le commerce de Paris fournit pour cet usage une série de timbres avec des empreintes variées qui donnent les meilleurs résultats.

Le contrôle du service se fait au moyen de feuilles de *procès-verbaux* relatant pour chaque train les heures d'arrivée et de départ *réelles*, que l'on compare avec le tableau de marche donnant les heures *réglementaires*. Le tableau de marche et le plan du réseau sont affichés dans les stations. Nous donnons ici un extrait du tableau pour les réseaux P et G (*fig. 177*). On a noté seulement la formule donnant l'heure *de départ* réglementaire ; l'heure d'arrivée s'en déduit en en retranchant 1 minute. Au moyen de cette notation abrégée « H (*heure de départ du poste central*) + un intervalle constant pour chaque bureau », on peut connaître très-aisément l'heure de passage d'un train dont on indique le numéro, ou inversement, déterminer le numéro du premier train qu'a pu prendre une dépêche déposée à une heure connue. Il va de soi que les horloges de tous les bureaux devront être bien d'accord ; avec les fils électriques qui les relient, c'est chose facile.

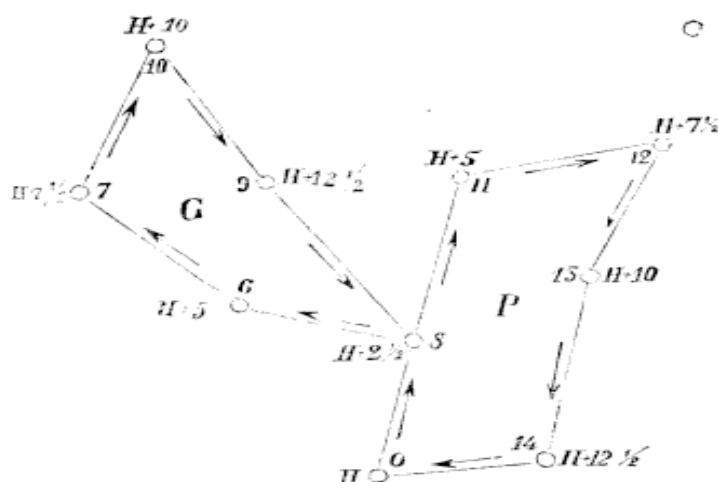
Nous quittons la station 8 au moment où les deux trains 8-11 et 8-6 s'en éloignent ; continuons notre route et arrêtons-nous à la station 12 (*fig. 176*). Trois réseaux P, E et D y aboutissent ; les facteurs qui manœuvrent les appareils reçoivent les trois trains 11-12, 28-12, 18-12 et opèrent les transbordements nécessaires.

A 9^h 35^m un avis est déposé à la station 10 pour un destinataire demeurant dans le quartier desservi par la station 18. Le télégramme est parti par le train n° 7 (départ du poste central de 9^h 30^m) qui quittait le poste 10 à 9^h 40^m (*). La boîte omnibus du réseau G l'a

(*) Nous rappelons que la durée d'un voyage sur 1 kilomètre est de 1 minute 1/2, et l'arrêt aux stations d'un même réseau de 1 minute.

Fig. 177.

Tableau de la marche des trains.



Nota. — H est l'heure de départ du train de la station centrale O.

Correspondance des numéros des trains avec l'heure de départ de la station centrale.

Numéros :	1	2	3	4	5	...	49	50	51	52
Heures :	8 ^h m.,	8 ^h 15,	8 ^h 30,	8 ^h 45,	9 ^h m.	...	8 ^h s.,	8 ^h 15,	8 ^h 30,	8 ^h 45 s.

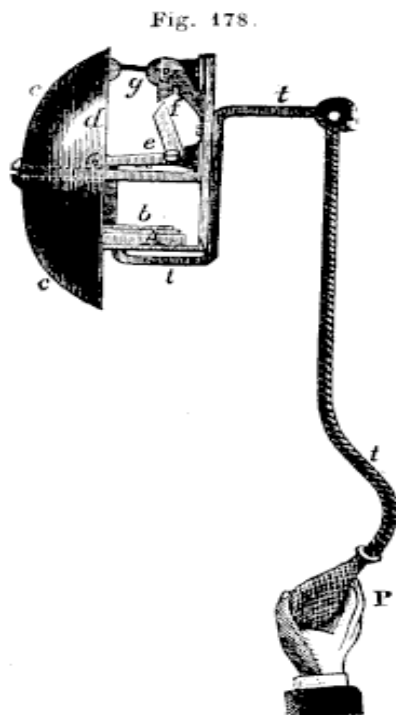
déposé en 8 à 9^h 44^m. Le train n° 8 l'a emmené à 9^h 47^m 1/2 dans la boîte omnibus du réseau P, et il est arrivé à 9^h 54^m 1/2 en 12. Là nous le voyons passer dans la boîte omnibus du réseau D et arriver à 9^h 54^m en 18; 15 minutes encore, et la remise à domicile sera effectuée; nous sommes conduits ainsi à 10^h 9^m, le destinataire a été prévenu en 34 minutes.

Les trains 12-13, 12-28 et 12-25 repartent ensuite.

Il n'est pas nécessaire de faire la remarque que ces dépêches de la ville pour la ville, qu'en langage du métier on appelle des dépêches *omnibus*, peuvent être remises en *original* au destinataire. La boîte omnibus qui fait partie de chaque train est ouverte à toutes les stations, pour prendre et déposer ce qui concerne la station. Un système de fiches indiquant d'une façon très-apparente le nom du bureau destinataire, supprime toute hésitation au passage et réduit la durée de l'arrêt intermédiaire au minimum possible. Nous ne dirons rien des signaux électriques qui s'échangent aux deux extrémités de la ligne, au départ et à l'arrivée du train; la disposition des sonneries est une application élémentaire des procédés du télégraphe électrique.

SIGNAUX ACOUSTIQUES.

A de courtes distances, des signaux acoustiques peuvent aussi être obtenus dans des tubes étroits au moyen d'une compression insignifiante. On connaît les appareils *Walcker* que nous reproduisons (*fig. 178*).



Un tube *tt* transmet la pression exercée à la main sur une poire en caoutchouc *P* placée au départ. La poche *A* se gonfle et sa paroi *b* soulève le mouvement de sonnette *def*, qui actionne le marteau *g* et fait résonner le timbre *cc*. En donnant à la poire *P* les dimensions 0^m,07 sur 0^m,05 et en employant comme conducteurs des tubes de plomb de 0^m,005, on peut transmettre un signal jusqu'à 250 mètres.

L'appareil décrit ci-dessus réalise un véritable télégraphe; nous n'insisterons pas sur les divers usages auxquels il peut se prêter (sonnerie ordinaire, enregistrement de signaux, indication de manœuvres, etc.).

Une application originale en a été faite par l'inventeur à la transmission du mouvement à distance. Par exemple, le cordon d'une porte peut être remplacé par l'appareil *Walcker*, lorsque la loge du gardien est éloignée et que la communication n'est pas directe. Sous une autre forme, nous retrouvons le principe du tiroir qui est installé à la rue de Grenelle.

TYPES DIVERS DE DÉPÊCHES.

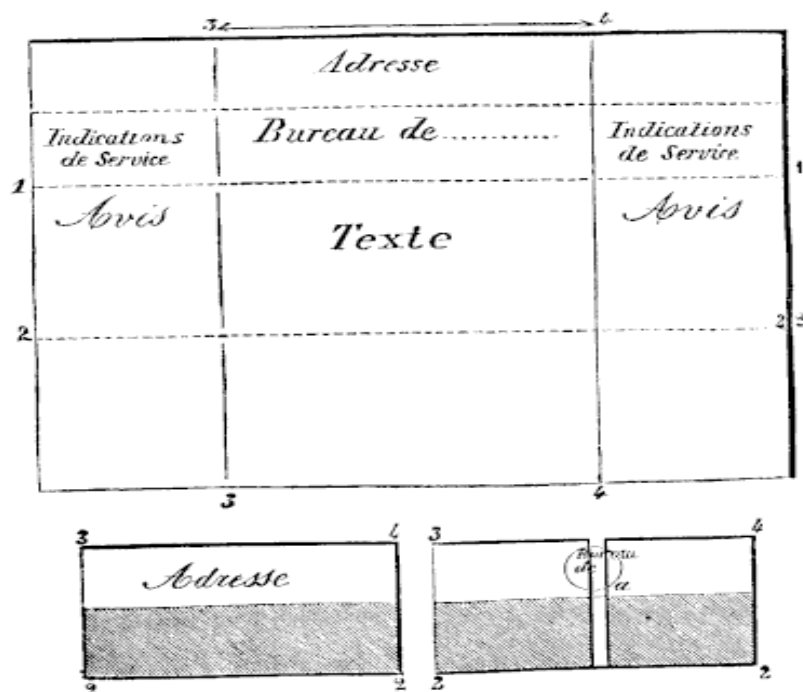
Nous avons représenté (*fig. 147*) le modèle de la dépêche télégraphique de l'administration française. La feuille de papier pliée en quatre est mise dans une enveloppe sur laquelle on reproduit l'adresse du destinataire.

De là une perte de temps et souvent même des erreurs de destination qui engendrent les plus fâcheux quiproquo. Divers procédés ont été proposés pour remédier à ces inconvénients. On a eu l'idée de former les quatre plis de la dépêche de façon à placer au dehors le carré renfermant l'adresse seulement; la dépêche est mise dans une enveloppe *transparente*.

Malheureusement, il est difficile de trouver un papier *solide*, assez transparent pour rendre très-lisible l'adresse manuscrite écrite sur la copie.

On a indiqué un autre mode. Le pli est préparé d'avance de façon que dans la confection l'adresse ressorte encore seule à l'extérieur; mais le pli est plus savant, afin de rendre l'enveloppe inutile. C'est la forme que les pharmaciens donnent aux paquets sortant de leurs officines. La *fig. 179* montre la feuille déployée et le pli fermé, les

Fig. 179.



numéros indiquent l'ordre dans lequel doivent se faire les plis. Il suffit d'un cachet gommé appliqué en *a* pour clore le message.

Il serait même facile, dans une grande station centrale, où le nombre des plis à faire dans l'intervalle de deux trains est considérable, de combiner une machine qui exécute des plis automatiquement. Il

suffit d'indiquer les résultats auxquels on est parvenu dans les manufactures de l'État pour la confection des paquets de tabac. Dans un ordre d'idées plus voisin de notre sujet, on peut citer les machines qui servent à faire les enveloppes. L'exposition de Paris en 1867 renfermait plusieurs spécimens de ces machines, qui accomplissent certainement des opérations plus complexes que la confection des plis du modèle de la *fig. 179*.

Il y a un autre système qu'il faut aussi recommander. Lorsqu'on ne tient pas au secret de la correspondance, le mode d'échange le plus simple consisterait dans l'emploi d'un carton timbré d'avance, circulant à découvert. Le service postal a déjà appliqué cette idée ^(*).

(*) Une loi du 20 décembre 1872 a institué les *cartes postales* à 0^c.10 pour Paris et 0^c.15 pour la province. Le réseau des tubes pneumatiques complet fournira un moyen de distribution plus rapide que les voitures employées aujourd'hui par l'Administration des Postes.

CHAPITRE VI.

DÉRANGEMENTS.

ARRÊT D'UN TRAIN.

Un train vient à s'arrêter dans le tube, que fait-on en pareil cas ?

Lorsqu'un dérangement se produit pendant le voyage, il peut être causé par un accident survenu à la *ligne*, aux *wagons* ou bien aux appareils de bureau.

Les accidents survenus aux machines ou appareils sont promptement réparés par les mécaniciens et le train ne reste jamais en détresse un temps fort long.

Si la réparation n'est pas immédiate, le bureau correspondant peut, en soufflant dans le tube, faire revenir les boîtes à la station qui les a expédiées : la collerette qui garnit le piston se retourne quand le sens de la pression change, et un nouveau piston, engagé par le bureau qui refoule, va rejoindre le train et le ramène au poste de départ.

Dans le cas d'une avarie aux wagons ou à la ligne, la difficulté est d'une autre espèce. On commence par augmenter autant qu'il est possible la pression de l'air à l'arrière du train, souvent on le démarre ainsi (*).

Lorsqu'on échoue dans ces tentatives, il n'y a plus d'autre moyen que de pratiquer une fouille pour chercher l'obstacle. Une expérience faite au bureau de départ permet de déterminer avec une approximation très-satisfaisante le lieu du dérangement. On observe la va-

(*) Avec le système de compression par l'eau, pour augmenter la pression dans les réservoirs autant que le comporte la pression de l'eau, on isole les deux réservoirs d'air l'un de l'autre en fermant le robinet de communication. On fait autant de cuvées qu'il en faut pour avoir le maximum de charge.

riation de la pression de l'air des réservoirs du poste, lorsqu'ils sont mis en communication successivement avec une ligne de longueur connue et avec la portion de ligne en dérangement. L'application de la loi de Mariotte aux résultats de cette expérience peut indiquer à 30 mètres près le tuyau à enlever. Ajoutons que l'on n'a que de très-rare occasions de recourir à cette opération.

L'observation journalière du manomètre et la pratique qu'elle donne aux agents qui desservent constamment la même ligne simplifient considérablement la recherche des dérangements. On comprend, en effet, que si l'on s'astreint à effectuer le voyage entre des limites de pression qui restent toujours les mêmes, on pourra obtenir une sorte de graduation empirique de l'instrument. Les distances à divers repères de la ligne pourront être reportées dans l'intervalle du cadran correspondant aux deux pressions initiale et finale. Il est possible ainsi dans quelques cas, en s'aidant d'indications ayant cette origine, d'aller presque à coup sûr trouver l'obstacle.

Il reste dans tout état de cause l'application de la méthode expliquée ci-dessus, et qui consiste à comparer la variation de pression lorsqu'on envoie l'air sur une ligne fermée de longueur connue et sur la section en dérangement. Cette méthode devient assez précise lorsqu'on contrôle les résultats obtenus à l'une des extrémités du tube en répétant l'expérience à l'autre extrémité. L'œil et la main se font vite à ce genre d'essais; l'approximation de 30 mètres que nous avons indiquée n'a rien d'exagéré.

On peut, au demeurant, s'aider encore par l'emploi d'une tringle articulée dont on développe une assez grande longueur (50 à 60 mètres) de chaque côté de la lacune pratiquée dans la ligne par l'enlèvement d'un tuyau. Enfin, lorsque les tubes sont posés en galerie, la question devient des plus simples, parce qu'alors la ligne est immédiatement accessible.

On arrive même souvent, en enlevant un tuyau à une certaine distance en avant du lieu du dérangement, à relever ce dernier. La pression d'air qu'on peut exercer au départ se trouve renforcée de toute la valeur à attribuer au frottement à l'avant qui se trouve de fait supprimé.

D'après ces préliminaires, la recherche d'un dérangement est fondée sur l'application de la loi de Mariotte aux deux états de l'air comprimé renfermé dans un réservoir, suivant que la communication avec la ligne est *établie* ou *supprimée*. L'approximation que peut

donner cette méthode est de 30 mètres environ sur la longueur moyenne de *un* kilomètre, à condition toutefois que l'observation de la pression se fasse avec une erreur maximum de *un* millimètre de mercure dans chacune des déterminations. Il n'y a là, ainsi que nous l'avons dit, rien de fantastique pour des expériences convenablement faites. Mais tous les praticiens savent que la lecture *au millimètre de mercure*, regardée par un physicien comme l'enfance de l'art, n'est pas chose commode à atteindre dans une exploitation courante, avec les manomètres généralement assez grossiers qui sont les instruments usuels.

On s'est donc efforcé de trouver des moyens plus perfectionnés. Celui qui vient naturellement à l'esprit est de faire dérouler par le piston un fil enroulé sur un tambour. Un compteur fixé à celui-ci ferait connaître la quantité de fil qui s'est engagée sur la ligne derrière le piston, et si le fil est guidé et tendu, la longueur déroulée indiquerait la distance de l'obstacle. Le système n'a pas été essayé, la courbure des lignes amènerait sans doute un enchevêtrement du fil.

PROCÉDÉ PAR LA VITESSE DE PROPAGATION DU SON.

Nous parlerons maintenant d'un procédé qui n'est que l'adaptation au but spécial que nous avons en vue de la méthode d'expériences de M. Regnault pour la détermination de la vitesse de propagation du son dans les tuyaux.

L'originalité de ces expériences est tout entière dans le mode d'observation de l'onde sonore à son arrivée à l'extrémité du tuyau.

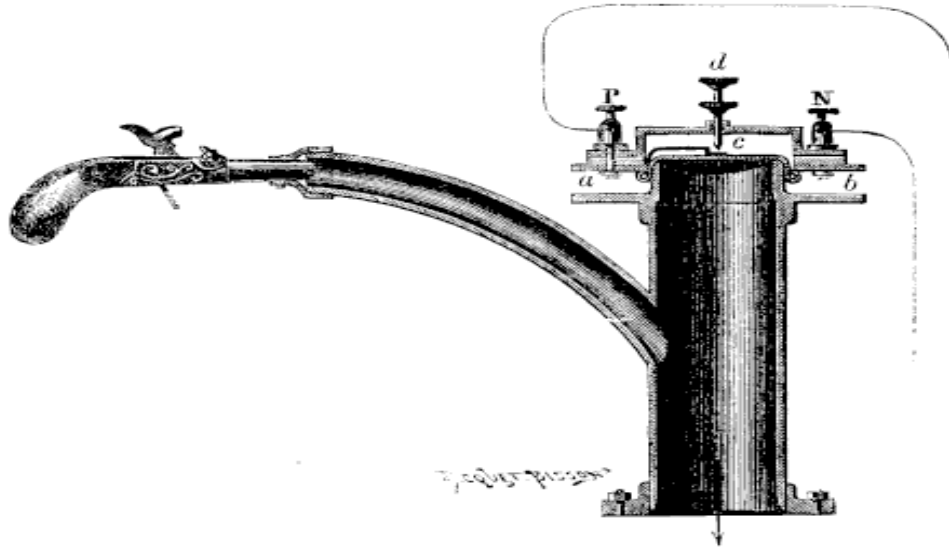
M. Regnault a construit avec une membrane en caoutchouc une oreille artificielle plus sensible que l'oreille humaine. Lorsqu'une telle membrane est gonflée par l'arrivée d'une onde, si l'on utilise le mouvement ainsi produit pour fermer un circuit électrique convenablement disposé, on se donne le moyen de noter très-exactement l'instant où l'onde parvient à destination.

La disposition à donner à cette membrane est simple. La *fig. 180* la représente. On choisit une bande de caoutchouc *ab* faiblement vulcanisé, de $\frac{1}{3}$ de millimètre environ d'épaisseur lorsqu'il n'est pas tendu, et dont le décimètre carré de surface pèse 4 grammes.

On enchâsse cette membrane *ab* entre deux brides de métal réunies par des vis qui traversent des trous pratiqués dans la lame de caoutchouc. Au centre on colle à la gomme laque un petit disque *c* en métal au-dessus duquel est une vis pointue *d*. Un circuit électrique se ferme, quand *c* et *d* se touchent, par le gonflement de la membrane.

On place à l'extrémité libre du tube la *membrane élastique*, dont les

Fig. 180.



gonflements alternatifs peuvent être enregistrés, sur un cylindre tournant, au moyen de l'électricité. Une onde est produite dans le tuyau par la détonation d'un pistolet placé auprès de la membrane. Cette onde chemine dans le tube à la vitesse de 330 mètres par seconde et vient buter contre l'obstacle; là elle se réfléchit, parcourt le tube en sens inverse et gonfle la membrane. On a ainsi sur le cylindre une *première* marque.

La membrane envoie l'onde contre l'obstacle qui la réfléchit de nouveau vers la membrane, ce qui permet d'obtenir sur le cylindre une *deuxième* marque.

Si l'on réussit à évaluer l'intervalle de temps écoulé entre les apparitions des deux marques, il est aisé de voir qu'on pourra calculer la distance de la membrane à l'obstacle.

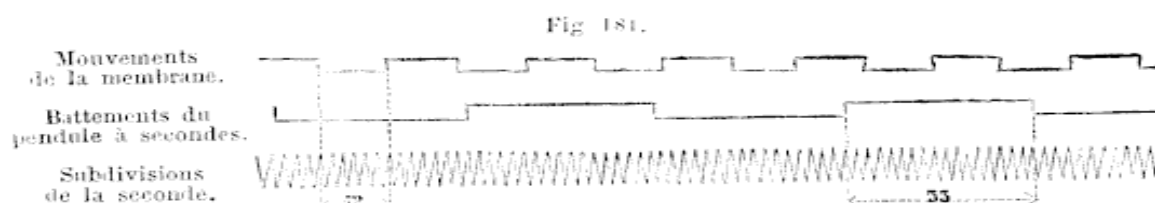
Le *chronographe* (Pl. IX) dont nous nous servons porte trois traceurs actionnés par des électro-aimants.

Le *premier* traceur est placé dans le circuit qui est fermé par les gonflements alternatifs de la membrane.

Le *deuxième* traceur correspond à un régulateur électrique marquant les *secondes* sur le cylindre.

Le *troisième* traceur subdivise l'intervalle de la seconde au moyen des vibrations d'un trembleur électrique.

Voici un exemple (*fig. 181*) d'une détermination pratique.



Un obstacle est placé sur la ligne à une distance de 62 mètres.

Le trembleur exécute *trente-trois* oscillations par seconde.

L'intervalle occupé, sur la bande de papier qui recouvre le cylindre, par deux marques consécutives de la membrane, correspond à douze oscillations.

La distance de l'obstacle se calcule par la formule suivante :

$$D = \frac{1}{2} \times 330 \times \frac{11}{33} = 60 \text{ mètres.}$$

L'approximation est donc de 2 mètres; le dérangement se trouverait relevé au moyen d'une seule fouille.

Dans la pratique courante, cette méthode s'applique sans l'aide d'un chronographe enregistreur et d'une membrane en caoutchouc. Un simple chronomètre à pointage suffit à évaluer la durée avec la précision nécessaire. La perception du retour des ondes peut être faite soit à l'oreille, soit au moyen du bruit d'un sifflet, soit enfin par l'élévation brusque de la colonne d'un petit manomètre à eau adapté à la conduite.

PROCÉDÉ DE M. SIEMENS.

M. *Siemens* préfère mesurer la quantité d'eau qu'il faut dépenser pour remplir la ligne jusqu'à l'obstacle; la précision doit être assez grande, mais il faut convenir que le procédé, malgré la simplicité

apparente, a un aspect quelque peu primitif. On voit bien comment on introduira cette grande masse d'eau, mais il est plus difficile de concevoir qu'elle se puisse enlever aisément.

ACCIDENTS DIVERS.

Nous citerons quelques exemples de dérangements constatés :

1° *Oubli du piston.* — L'air agissant alors directement sur les boîtes pénètre entre les enveloppes et tend à les séparer; les boîtes ne sont plus rassemblées, on les voit arriver successivement à l'extrémité du tube, ouvertes pour la plupart, et avec les dépêches en désordre.

2° *Oubli d'un train.* — C'est presque incroyable, mais la chose est certaine. Par distraction, le facteur avait donné le signal de la réception bien avant l'arrivée du train. Lorsque vint le train suivant, il poussa le premier et se mit à sa place; à l'arrivée on prit celui-ci pour celui-là, et ainsi une partie de la journée on reçut d'autres hôtes que ceux qu'on attendait, jusqu'à ce que la vérification des bordereaux eût mis sur la trace de ce cas singulier.

3° *Boîtes engagées à contre-sens.* — Ce sont les mêmes péripéties que dans le premier exemple, le train se coince.

4° *Bris du piston.* — La collerette est fixée au piston au moyen d'une tige à vis. Un jour d'hiver, la tige se casse, le train s'arrête et par l'effet de la gelée, se trouve emprisonné dans la glace. Le démontage n'était pas aisé; la ligne était établie sous un pont, et la perspective de la rivière gelée elle-même déconseillait l'emploi d'un échafaudage volant, difficile d'ailleurs à installer. On remplit d'eau chaude plusieurs pistons et on les lança dans la partie encombrée; peu à peu ils eurent raison de l'embarras et l'on reçut à l'extrémité, avec les boîtes et les pistons, les glaçons désagregés.

Il restait encore l'écrou de la tige. Ce fut l'affaire d'un second envoi, dirigé cette fois de façon que le piston arrivât très-lentement sur l'objet à entraîner pour le pousser devant lui et le faire sortir à son tour.

5° *Accident au tuyau.* — Lorsque les tubes sont posés en tranchée dans le sol fréquemment remué par les travaux de canalisation d'eau ou de gaz et de réfection des chaussées, les coups de pioche sont à craindre. S'ils ne percent pas le tuyau, ils l'aplatissent; il est inutile

d'ajouter que c'est une cause d'arrêt pour le train quand il arrive au point touché.

Les fuites d'air, qui sembleraient devoir être fréquentes, ne se sont au contraire jamais produites, même dans les parties où, comme dans l'exemple n° 4, la ligne suit les oscillations du tablier du pont qui la porte.

6° *Essai de nouveaux chariots.* — On avait pensé qu'un piston garni sur sa surface d'une véritable brosse aurait un excellent effet pour enlever de la ligne les poussières et la boue qu'elle peut renfermer. Malheureusement, ce que la brosse enlève, elle le porte dans un point bas ou étranglé, et après quelques voyages, elle vient s'y fixer elle-même sans qu'il soit possible de la faire démarrer avec la pression.

SERVICE PENDANT UN DÉRANGEMENT.

Tout en cherchant à faire arriver les dépêches en souffrance, il faut encore s'occuper de ne pas retarder les suivantes.

Voici les règles adoptées en pareil cas :

Pendant que les recherches et les essais se font sur la portion de ligne en dérangement qui est comprise entre deux bureaux, on organise un service de voitures partant chaque quart d'heure de l'extrémité de la lacune et transportant le train à l'autre poste avec une perte de temps minime. Lorsque le dérangement peut être relevé dans un intervalle de moins de quatre heures, il n'y a pas de meilleure solution.

S'il arrive que la durée de l'interruption se prolonge, le tracé polygonal fournit le moyen d'assurer le service en substituant au train *circulaire* des trains dans deux sens avec croisement (*).

Pour fixer les idées par un exemple, revenons à la *fig. 176*. La ligne en dérangement est la ligne 8-11. Il est possible de desservir toutes les relations des stations 8, 11, 12, 13, 14 avec le centre 0 et entre elles au moyen de deux systèmes de trains :

(*) Il y a toujours un certain temps perdu lorsqu'on passe d'un mode d'exploitation à un autre ; c'est pour cette raison que nous préférons l'emploi des voitures qui laisse subsister le service primitif, quand l'interruption dure moins de quatre heures.

1°	8-0, 0-14, 14-13, 13-12, 12-11.
2°	11-12, 12-13, 13-14, 14-0, 0-8.

partant en même temps des stations 8 et 11 et se croisant en 13.

Mais, dans ce cas, les appareils de production d'air comprimé à chacune des stations autres que les stations 8 et 11 auront à fournir une provision double de celle qui est nécessaire dans l'exploitation régulière.

Dans le système des cuves à eau, on combinera les manœuvres pour faire en 10 minutes la provision pour un voyage : par conséquent, en échelonnant les départs des stations 8 et 11 par périodes de 20 minutes, on sera assuré d'un fonctionnement régulier sur toute l'étendue du réseau principal. Sur les réseaux secondaires, le service circulaire ordinaire continuera avec des phases de 20 minutes au lieu de 15, et les correspondances seront assurées comme dans le mode d'exploitation courant.

L'emploi des signaux électriques devient indispensable avec des trains circulant dans les deux sens sur une ligne à une voie. Ils préviennent les collisions et donnent toute sécurité au service : ils servent en outre à l'échange d'avis en cas d'accident.

CHAPITRE VII.

RÉSEAU DE PARIS.

RÉSEAU ACTUEL.

C'est en 1865 que fut décidé l'établissement des tubes pneumatiques à Paris. Une ligne d'essai entre les deux stations de la place de la Bourse et du Grand-Hôtel (boulevard des Capucines) fut exécutée dans le courant de 1866. La production de l'air comprimé au moyen de l'eau de la ville ayant bien réussi, on projeta d'utiliser le mode nouveau de transmission pour relier la Bourse à la station centrale située rue de Grenelle-Saint-Germain, n° 103.

Pour cela, il n'y avait qu'à prolonger la canalisation entre le Grand-Hôtel et la rue de Grenelle; la longueur du trajet ayant paru excessive, on fit escale à un bureau intermédiaire, celui de la rue de Boissy-d'Anglas, et l'on alla ainsi en trois bonds au but indiqué. Lorsqu'on eut *une* communication entre la Bourse et la station centrale, on en voulut *deux* pour parer à toutes les éventualités, ce qui fit décider la construction des lignes de la Bourse à la rue Jean-Jacques-Rousseau, de celle-ci à l'hôtel du Louvre (rue de Rivoli), de la rue de Rivoli à la rue des Saints-Pères, enfin de ce point à la rue de Grenelle. On avait ainsi l'avantage d'assurer, chemin faisant, le service de succursales, dont quelques-unes se trouvaient assez encombrées.

L'ensemble de ce travail se termina en 1867. Les lignes furent toutes établies en tranchée dans les rues; elles traversent la Seine aux ponts de la Concorde et des Saints-Pères. Le mode d'installation des sept postes était uniforme, les appareils de production d'air et d'expédition des dépêches appartenant au modèle de la Pl. V.

En 1868, le tracé primitif reçut une modification importante. A l'occasion de la suppression du bureau établi rue de Rivoli et reporté

sur la place du Théâtre-Français, on fit sortir la station de la rue Jean-Jacques-Rousseau du réseau central, en reliant directement la place du Théâtre-Français à la Bourse. Ainsi se trouvait constitué l'*hexagone* destiné à être parcouru dans l'intervalle de 15 minutes, adopté pour type dans le mode de circulation que nous avons décrit. A partir de ce moment, l'idée d'étendre successivement le réseau pour arriver à une véritable distribution postale des dépêches de Paris pour Paris, fut affirmée dans tous les tracés. Telle n'avait pas été à l'origine la question qu'on avait eu en vue. Dans les préliminaires on s'attachait seulement à créer l'auxiliaire du télégraphe électrique, le distributeur de ses propres dépêches, sans songer à un élément de trafic qui n'était pas d'abord dans le domaine de l'Administration qui poursuivait ces études.

L'établissement de tubes à la place du Théâtre-Français, et la ligne de ce poste à la Bourse, datent de 1868. Pour la première fois on posa les tubes dans les galeries des égouts de la ville (*).

Cette même année vit s'achever l'embranchement de la Bourse à la rue Lafayette. Les installations à la rue de Lafayette et à la place du Théâtre-Français furent encore calquées sur celle de la Pl. V. Il fut toutefois fait à la rue de Lafayette un essai de l'utilisation du vide comme nous l'avons représenté *fig.* 167 et 168; on étendit cette application aux autres bureaux de la Bourse, de la rue Jean-Jacques-Rousseau et de la rue des Saints-Pères.

En 1869, on relia le bureau de l'avenue des Champs-Élysées à celui de la rue Boissy-d'Anglas. L'installation à ce dernier poste de la combinaison du vide avec l'injecteur des *fig.* 172 et 173 permit de desservir le nouveau bureau, sans le pourvoir d'appareils de production d'air comprimé. On essaya en même temps les appareils de réception horizontaux.

L'année 1870 vit s'achever le premier des réseaux secondaires par l'établissement de la ligne de la rue Jean-Jacques-Rousseau à celle des Vieilles-Haudriettes, de celle-ci à la place du Château-d'Eau, de cette place au boulevard Saint-Denis, enfin du boulevard Saint-Denis à la Bourse.

Des turbines (Pl. VIII) furent posées à la place du Château-d'Eau et les postes *intermédiaires* de la rue des Vieilles-Haudriettes et

(*) Déjà, dès 1860, les lignes électriques avaient été installées dans ces galeries.

du boulevard Saint-Denis reçoivent seulement des appareils de réception du modèle des *fig.* 153 et 154, tandis qu'aux bureaux, *tête de ligne*, on plaçait des appareils comme ceux des *fig.* 155 et 156.

L'inauguration des machines à vapeur à la gare du Nord, et du deuxième réseau comprenant les bureaux de la rue Lafayette, du boulevard Rochechouart, de la gare du Nord et de la rue Sainte-Cécile eut lieu en 1871 ; on a continué sur ce réseau l'application des appareils horizontaux déjà employés sur le précédent.

Avant de desservir de nouvelles succursales, il fallait prévenir un embarras. Le réseau principal sur lequel se trouvent placés le poste central de la rue de Grenelle et la station de la Bourse, est l'artère commune de la circulation. Si nous voulons greffer de nouvelles branches sur ce tronc, nous allons l'encombrer. Revenons donc à l'idée primitive et établissons une ligne directe entre ces deux points ; voici dans quelles conditions cette communication est installée : on a construit une ligne *double* entre le poste central et la Bourse, l'une pour l'aller, l'autre pour le retour.

Le mode d'exploitation comprend des trains circulaires *omnibus* comme dans le système actuel sur le réseau principal, et des trains *directs* (aller et retour), entre le poste central et la Bourse. Ceux-ci sont expédiés toutes les 3 minutes ; chaque tube est traversé par un courant continu d'air raréfié ou comprimé. Des valves sont placées aux deux extrémités pour permettre l'expédition ou la réception des boîtes.

La ligne directe est installée dans les conditions indiquées ci-dessus, depuis le mois de juillet 1872. Les machines de compression et d'aspiration (pompes à vapeur) sont placées à la rue de Grenelle.

En 1873, on a exécuté la ligne de la place du Théâtre-Français à la rue des Halles, composée de deux tubes servant à l'échange des dépêches dans les deux sens, par la pression du bureau du Théâtre-Français. Il n'y a pas d'appareil de production de force à la rue des Halles, seulement des récepteurs verticaux.

En 1874, le bureau de la place du Havre a été relié à celui du Grand-Hôtel par un seul tube ; la cuve à eau du Grand-Hôtel fait la *pression* ou le *vide*, pour l'aller ou pour le retour. Il n'y a à la place du Havre qu'un appareil de réception vertical.

La Pl. X résume dans un tableau synoptique l'installation spéciale de chaque bureau. Elle fait comprendre le mode d'exploitation adopté.

On voit que sur le réseau principal O, les trains sont *poussés* à *Boissy* par le *Central*, au *Grand-Hôtel* par *Boissy*, à la *Bourse* par le *Grand-Hôtel*, au *Théâtre-Français* par la *Bourse*, aux *Saints-Pères* par le *Théâtre-Français*, au *Central* par les *Saints-Pères*.

Sur le réseau secondaire E, la *Bourse* *pousse* sur le boulevard *Saint-Denis*, le *Château-d'Eau* *aspire* du boulevard *Saint-Denis*, et *refoule* à *Jean-Jacques-Rousseau* par l'intermédiaire des *Vieilles-Haudriettes*, enfin la *Bourse* *aspire* de *Jean-Jacques-Rousseau*.

Sur le réseau secondaire F, le bureau de *Lafayette* *aspire* de la *Bourse* et *refoule* au boulevard *Rochechouart*, la gare du Nord *aspire* du boulevard *Rochechouart* et *refoule* à la *Bourse* par l'intermédiaire de *Sainte-Cécile*.

La symétrie complète des deux réseaux E et F montre qu'on peut changer à la fois pour chacun d'eux le sens du mouvement.

Les trois embranchements : *Boissy* — *Champs-Élysées*, *Théâtre-Français* — *Halles*, *Grand-Hôtel* — *Place du Havre*, aboutissent sur le réseau principal O, constituant les amorces de nouveaux réseaux secondaires.

En outre de la circulation polygonale ci-dessus, les relations de la rue de Grenelle à la Bourse sont desservies par la double ligne directe, traversée par des trains *express*, expédiés dans chaque sens toutes les trois minutes. Le nombre des dépêches de toute nature, transportées par les tubes, est par mois de 250.000 environ, ce qui donne par jour une moyenne de 8.300. Les stations desservies sont les plus centrales; elles expédient ou reçoivent à peu près les 2/3 des dépêches de Paris. La Bourse à elle seule entre pour plus de 2.500 dans le chiffre de 8.300.

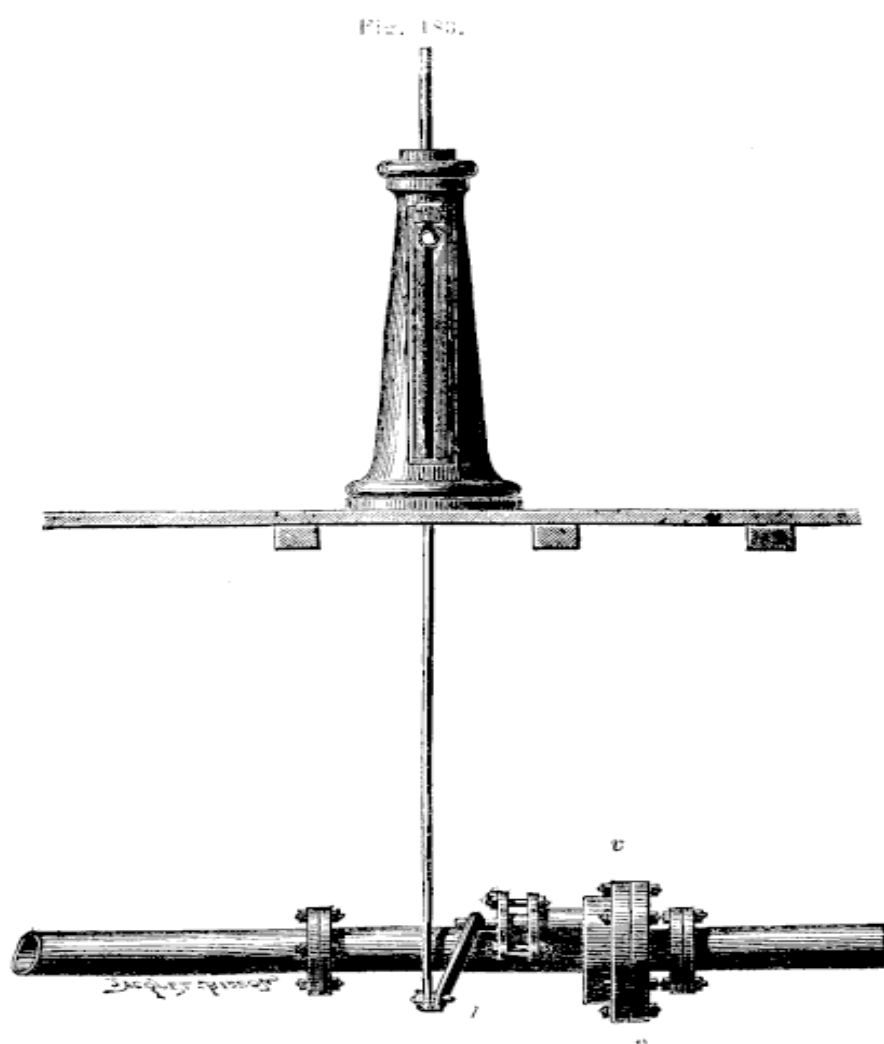
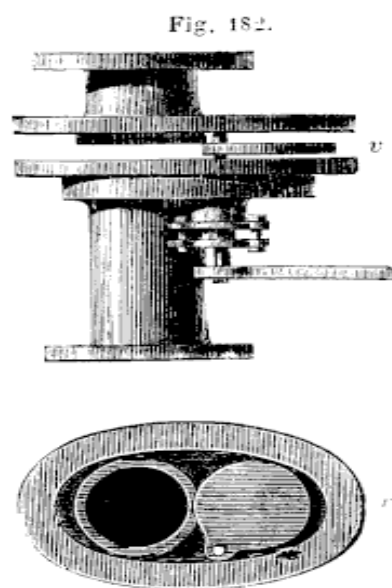
L'Administration a ouvert 45 succursales; il en reste encore 29 à relier au moyen des tubes. La moyenne du temps écoulé entre les heures de dépôt et de remise à domicile, pour les dépêches *omnibus* qui transitent exclusivement sur le réseau, est de 40 à 45 minutes. L'affluence des dépêches est la plus grande à l'heure de midi, qui est celle de la Bourse; il y a cependant des bureaux qui donnent leur plein plus tôt ou plus tard. Cela tient à ce que les divers quartiers de Paris ont chacun une physionomie distincte; les transactions commencent de très-bonne heure à la Halle, et se poursuivent successivement sur les divers marchés; la soirée appartient aux plaisirs.

Nous signalerons encore une disposition *de valce de ligne*, qui

est appliquée sur le réseau principal O, aux postes de Boissy et du Grand-Hôtel, et qui permet de pousser un train de la rue de Grenelle à la Bourse, sans utiliser les cuves à eau des postes intermédiaires.

La manœuvre est simple : lorsque le train parti de la rue de Grenelle est arrivé dans l'appareil du bureau de Boissy-d'Anglas, la valve *v*, *fig.* 182, qui est interposée sur la ligne en avant de cet appareil, est fermée par la manivelle *l*, *l*, *fig.* 183, et la pression est maintenue dans toute la section de ligne entre la rue de Grenelle et le bureau de Boissy-d'Anglas.

On transborde ensuite les boîtes dans l'appareil de Boissy, côté du Grand-Hôtel : on tourne un robinet qui établit la communication



entre les deux sections de ligne : *Grenelle-Boissy* et *Boissy-Grand-Hôtel*, puis on ouvre la valve *v*, et l'air fourni par la machine à vapeur de la rue de Grenelle continue à pousser le train jusqu'au bureau du Grand-Hôtel.

Les mêmes opérations se répètent à ce poste pour franchir la distance *Grand-Hôtel — Place de la Bourse*.

RÉSEAU PROJETÉ.

Dans l'état actuel, les stations voisines de celles du réseau ont déjà le moyen d'y apporter leurs dépêches aux heures d'encombrement. Cette faculté pourrait même être étendue à toutes les autres, si l'on utilisait les parcours des lignes d'omnibus qui servent pour le transport des voyageurs. La fréquence des voyages de ces voitures permettrait sans peine d'organiser des correspondances qui donneraient des résultats satisfaisants.

Mais ce ne serait là qu'un moyen provisoire, en attendant l'achèvement du réseau.

La Pl. XI nous montre l'ensemble du plan de Paris sur lequel ont été tracés les emplacements des 46 bureaux du télégraphe, ouverts au service privé. Autour de chaque bureau, est figurée la circonscription de distribution.

Les changements à effectuer pour mieux répartir les circonscriptions, en vue de l'achèvement du réseau des tubes, sont peu importants. Ils comporteront :

1° La suppression de deux postes, ceux de la *place Vendôme* et de la *gare de l'Est*, trop rapprochés de bureaux déjà reliés ;

2° Le report de celui du *boulevard Malesherbes* au *boulevard Haussmann* pour la même raison ;

3° La création de deux nouvelles stations à *Chaillot* et à *Clignancourt*, pour réduire les circonscriptions qui desservent actuellement ces quartiers.

La Pl. XII représente l'application du tracé polygonal au plan : nous avons déjà 17 stations reliées, il en reste 29, soit environ les $\frac{2}{3}$ du travail total.

Le tableau ci-dessous montre la répartition des 46 bureaux dans le réseau principal O, et dans les 8 réseaux secondaires A, B, C, D, E, F, G, H.

Réseau O. .	{	Réseau A. — École Militaire. . .	{	Grenelle.
			{	Vaugirard.
		Réseau B. {	Rue de Rennes.	
			Montrouge.	
		Réseau C. {	Sénat.	
			Halle aux Cuirs. . .	{
				{
				{
	{			Gobelins.
				Gare d'Orléans.
				Bercy.
			Boulevard Saint-Germain.	
			Boulevard Saint-Michel.	
		Réseau D. {	Halles.	
			Rue de Rivoli.	
			Rue de Lyon.	
	{		J.-J. Rousseau.	
			Haudriettes.	
		Réseau E. {	Château-d'Eau. . .	{
				{
				{
			Boulevard Saint-Denis.	
	{		Sainte-Cécile.	
		Réseau F. {	Gare du Nord. . .	{
				{
				{
				Clignancourt.
				La Chapelle.
				La Villette. {
				Marché aux bestiaux.
	{		Boulevard Rochechouart.	
			Lafayette.	
		Réseau G. {	Place du Havre.	
			Rue St-Petersbourg. — Avenue de Clichy.	
			Boulev. Haussmann. — Boulevard Courcelles.	
		Réseau H. {	Champs-Élysées.	
			Ternes.	
			Chaillot.	{
	{			Passy.
				Auteuil.

Nous ne nous étendrons pas sur le mode d'installation qui conviendra à chaque cas; après les explications données, on s'en fera aisément une idée.

Insistons seulement sur un cas particulier, celui du réseau D. Il se compose de trois rayons consécutifs : *Théâtre-Français* — *Halles*, *Halles* — *rue de Rivoli*, *rue de Rivoli* — *rue de Lyon*.

Nous le desservirons au moyen de pompes à compression et à vide, actionnées par la vapeur et placées à la rue de Lyon dans un local voisin de celui où se trouve la station. L'exploitation sera ainsi réglée : les trains d'aller (montants) seront poussés du Théâtre-Français aux Halles, et *aspirés* des Halles à la rue de Lyon par l'intermédiaire de la rue de Rivoli; les trains de retour (descendants) seront *poussés* de la rue de Lyon au Théâtre-Français à travers les trois sections consécutives.

Mais nous aurons ainsi *six* parcours dans le réseau secondaire, et nous avons posé comme règle que nous ne dépasserons pas le nombre *cinq*, pour satisfaire toujours, avec de la marge, à la condition que « *la durée du trajet sur les réseaux secondaires, soit égale à l'intervalle des trains sur le réseau principal.* » Pour lever la difficulté, nous serons obligés d'établir un croisement aux Halles; la ligne double entre ce dernier bureau et celui du Théâtre-Français a été établie dans ce but.

L'ensemble des installations effectuées à ce jour et comprenant, outre les 17 stations ouvertes au service, les amorces des nouvelles lignes et les moyens de production d'air préparés pour desservir une partie de ces lignes, représentent une valeur de près de 1.400.000 fr.; avec une somme égale, on achèvera ce qui reste à faire.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE.	V

PREMIÈRE PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE AÉRIEN.

CHAPITRE I. — HISTORIQUE.

CHAPITRE II. — LE SYSTÈME DE CHAPPE.

Description.	18
Vocabulaire.	25

DEUXIÈME PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE.

CHAPITRE I. — L'ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE.

Sources.	29
Piles à courant constant.	30
Pile Daniell.	31
— Callaud.	32
— Grove.	33
— Bunsen.	33
— Léclanché.	33
— Marié-Davy.	34
— Gaiffe.	34
— à gaz de Grove.	35

	Pages
Effet mécanique du courant.	36
Expérience d'Oerstedt.	36
Galvanomètres.	37
Boussole de sinus.	38
Action chimique du courant.	39
Voltamètre.	39
Loi de Faraday.	40
Intensité des courants.	41
Boussole des tangentes.	43
Influence des dimensions et de la nature des conducteurs.	43
Conductibilité. — Résistance.	44
Loi de Ohm.	49
Force électromotrice.	51
Réunion de plusieurs éléments.	51
Choix d'un galvanomètre.	55
CHAPITRE II. — PRINCIPE DES APPLICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES.	
Aimantation par les courants.	56
Le télégraphe électrique.	58
CHAPITRE III. — HISTORIQUE.	
Premiers essais.	60
Télégraphe de Gauss et de Weber.	62
— de Steinheil.	64
Télégraphes de Wheatstone et Cooke.	67
Télégraphe français.	68
CHAPITRE IV. — APPAREILS USUELS.	
Télégraphe à cadran.	73
Télégraphe Morse.	81
Appareils accessoires.	88
Commutateurs.	88
Boussoles.	90
Paratonnerres.	92
Sonneries.	94
Appareils de translation.	98
Système Morse.	99
Relais Siemens.	103
Devis d'un poste.	106
CHAPITRE V. — APPAREILS PERFECTIONNÉS.	
Appareils à cadran électro-magnétiques.	109
Appareil Siemens.	109
— Wheatstone.	110

	Pages
Appareils imprimeurs.	111
Appareil d'Arincourt.	113
— Joly.	114
— Hughes.	115
Appareils autographiques.	119
Appareil Caselli.	119
— Meyer.	123
— Lenoir.	125
Typotélégraphes.	130
Appareil Bonelli.	130
Système Vavin et Fribourg.	132
Le Jacquard électrique de Wheatstone.	135
Appareil multiple de Meyer.	143
Transmission simultanée.	148

CHAPITRE VI. — ÉTABLISSEMENT DES LIGNES.

Lignes aériennes.	155
Conducteurs.	155
Isolateurs.	157
Poteaux en bois.	161
Construction des lignes.	163
Poteaux métalliques.	165
Devis d'une ligne.	169
Lignes souterraines.	171
Lignes en bitume.	172
Câbles en tranchée.	173
Câbles en égout.	176
Renseignements divers.	177

CHAPITRE VII. — DÉRANGEMENTS DES LIGNES.

Mesure des courants.	180
Perturbations sur les lignes.	185
Déperdition d'électricité.	185
Accidents divers.	188
Courants de retour.	190
Induction dans les bobines des électro-aimants.	192
Induction réciproque des fils d'une même ligne.	193
Mauvaise communication avec la terre.	194
Recherche des dérangements.	195
Lignes aériennes.	195
Défaut sur un fil unique.	195
Dérangement sur plusieurs fils.	198
Lignes souterraines.	200
Lignes sous-marines.	203

CHAPITRE VIII. — LE RÉSEAU FRANÇAIS

	Pages
Nomenclature des fils.	208
État du réseau.	210
Tarifs.	211
Budget de l'année 1876	213
Produits et dépenses de la télégraphie.	214
Dépêches internationales.	217

CHAPITRE IX. — LE TÉLÉGRAPHE SOUS-MARIN.

Ligne de la Manche.	219
Câble atlantique.	219
Statistique.	238

CHAPITRE X. — APPLICATIONS DU TÉLÉGRAPHE.

Météorologie.	240
Bulletin international de l'Observatoire.	241
La prévision du temps.	245
Caractères généraux des tempêtes d'Europe.	248
Télégraphie militaire.	252
Télégraphe électrique.	252
Télégraphe optique.	257
Cryptographie.	261
La poste et la télégraphie pendant le siège de Paris.	263

TROISIÈME PARTIE.

LE TÉLÉGRAPHE PNEUMATIQUE.

CHAPITRE I. — ÉNONCÉ DU PROBLÈME. — CHOIX D'UN TRACÉ.

Système rayonnant.	270
— polygonal.	271

CHAPITRE II. — ÉTABLISSEMENT DES LIGNES.

Tubes.	276
Curseurs.	278
Appareils d'envoi et de réception.	280

CHAPITRE III. — PRODUCTION DE L'AIR COMPRIMÉ.

	Pages
Fontaine de Héron.	286
Emploi de l'eau forcée.	291
Description des appareils.	292
Organes accessoires.	294
Conduites d'eau.	294
Soupape de retenue.	295
— d'aspiration.	296
Robinets.	296
Manomètres.	297
Dispositions diverses suivant les locaux.	298
Devis d'une exploitation.	300
Utilisation du vide.	303
Injecteur.	305
Comparaison des trois systèmes.	310
Compression et raréfaction de l'air au moyen de pompes actionnées par des turbines.	310
Pompes.	313
Turbines.	314
Installation d'un poste.	315
Emploi de la vapeur.	316

CHAPITRE IV. — TRACTION.

Utilisation de l'air comprimé.	318
--	-----

CHAPITRE V. — EXPLOITATION.

Marche des trains et mouvement des dépêches.	321
Signaux acoustiques.	324
Types divers de dépêches.	324

CHAPITRE VI. — DÉRANGEMENTS.

Arrêt d'un train.	327
Procédé par la vitesse de propagation du son.	329
Procédé de M. Siemens.	331
Accidents divers.	332
Service pendant un dérangement.	333

CHAPITRE VII. — RÉSEAU DE PARIS.

Réseau actuel.	335
Réseau projeté.	340

FIN DE LA TABLE.