

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Mercadier, Ernest (1836-1911)
Titre	Traité élémentaire de télégraphie électrique : leçons faites à l'administration centrale des télégraphes à l'usage des auxiliaires, surnuméraires, agents des postes et des télégraphes, des écoles de télégraphie militaire, et de toutes les personnes qui désirent acquérir des notions de télégraphie électrique
Adresse	Paris : G. Masson, éditeur libraire de l'Académie de médecine, 1880
Collation	1 vol. (261 p.) : fig., ill., diagr. ; 19 cm
Nombre d'images	262
Cote	CNAM-BIB 12 Ca 182
Sujet(s)	Art et science militaires Chimie industrielle Galvanomètres Télégraphe Électricité Electroaimants Électrodynamique
Thématique(s)	Énergie 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?12CA182

*l'enseignement à l'application
de l'électricité*

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
DE
TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

—
42 295. — PARIS, TYPOGRAPHIE A. LAHURE
Rue de Fleurus, 9
—

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

LEÇONS FAITES

A L'ADMINISTRATION CENTRALE DES TÉLÉGRAPHES

A L'USAGE DES AUXILIAIRES,
SURNUMÉRAIRES, AGENTS DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES,
DES ÉCOLES DE TÉLÉGRAPHIE MILITAIRE,
ET DE TOUTES LES PERSONNES QUI DÉSIRENT ACQUÉRIR
DES NOTIONS DE TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

PAR

M. E. MERCADIER

Inspecteur des Études et Professeur à l'École supérieure de Télégraphie
Répétiteur à l'École Polytechnique

160 (a.162

avec 158 figures dans le texte



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRIE DE L'ACADEMIE DE MÉDECINE
120, Boulevard Saint-Germain, 120

M DCCC LXXX



PRÉFACE

Les Notions de Télégraphie électrique qui font l'objet de cet ouvrage sont très élémentaires, ainsi que l'indique le titre. Elles ont constitué la matière de cours qui sont destinés et ont été faits à des télégraphistes ayant déjà commencé leur instruction pratique quelques jours avant la première leçon.

C'est pour satisfaire aux demandes qui nous ont été adressées par un grand nombre de personnes qui ont suivi ces cours, ou d'autres faits depuis sur le même modèle, que nous publions aujourd'hui ces leçons. Leur étude ne suppose pas d'autres connaissances que celles qu'on peut acquérir à l'école primaire. Elles constituent un premier degré d'instruction télégraphique susceptible de mettre les personnes qui les apprendront en état de lire avec fruit les ouvrages complets de télégraphie, tel que l'excellent traité de M. Blavier, par exemple.

Cet ouvrage est aussi théorique que pratique, parce que la télégraphie n'est qu'une application de la science, et qu'avant d'enseigner cette application il faut commencer par la science elle-même. Il le faut d'autant plus que l'Administration télégraphique est obligée de transformer, au fur et à mesure des progrès rapides de la science, ses appareils et ses procédés. Mais, tout en con-

servant à l'ouvrage ce caractère théorique, nous avons eu constamment pour objectif immédiat les applications pratiques : il suffit de jeter un coup d'œil sur la table des matières et sur la nature de ses divisions pour s'en convaincre.

On a cherché avant tout à suivre une marche assez logique et à faire une exposition assez simple pour que les personnes qui n'ont pas suivi ces leçons puissent, en les lisant avec attention, les comprendre sans difficultés sérieuses. Les nombreuses figures du texte qui indiquent la disposition des expériences faites ou des appareils décrits rendront assurément cette tâche plus facile à ceux qui voudront l'entreprendre.

Quant aux personnes qui seront appelées à professer des leçons de cette nature dans les écoles élémentaires des Postes et Télégraphes ou autres, et qui voudront bien adopter les idées et le plan de celles-ci, voici, à leur intention, quelques explications et observations sur le point de vue auquel on s'est placé.

Le cours est entièrement expérimental. Toute théorie vague, ou même qui ne peut être accompagnée immédiatement d'expériences explicatives simples, a été soigneusement écartée. On n'a pas donné d'autre formule que celle si simple qui exprime l'intensité d'un courant : on a cherché, autant que possible, à *montrer* ce qu'on disait ; on s'est astreint à n'employer que des appareils faisant partie du matériel télégraphique, des instruments qu'on trouve dans les cabinets de physique les plus modestes ou qu'on peut faire soi-même sans grands frais.

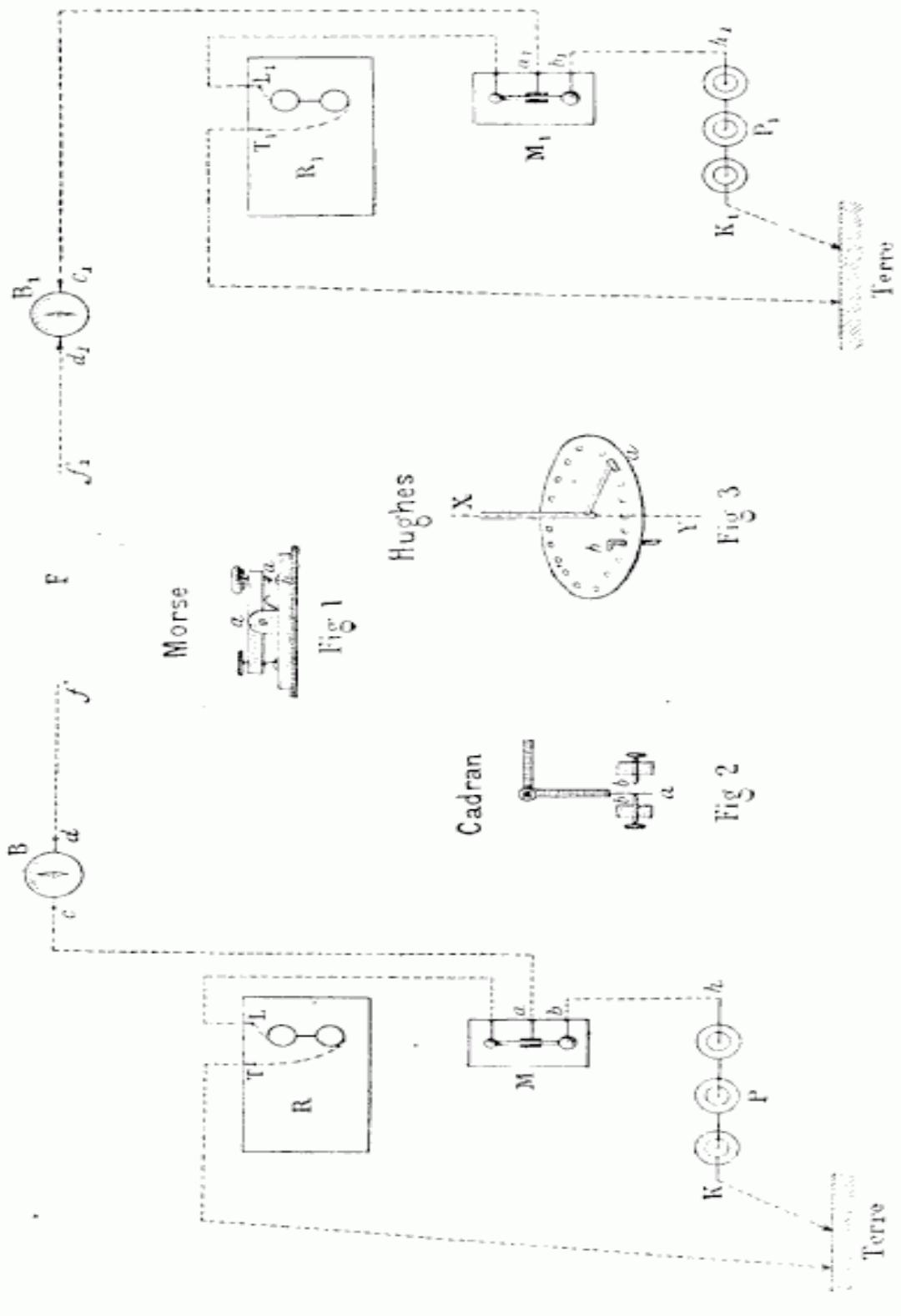
Néanmoins on a essayé de mettre ces leçons, si élémentaires qu'elles soient, au niveau des idées les plus nouvelles en électricité et en télégraphie.

C'est ainsi qu'on a tenté de se passer de préliminaires

tirés de ce qu'on nomme habituellement Électricité *statische*, et qui ne paraissent nullement nécessaires pour expliquer avec une clarté suffisante toutes les notions qui forment la base de la Télégraphie. La *Tension* ou *Potentiel* électrique et la *Quantité* d'électricité, qu'on a mis un soin et une instance extrêmes à distinguer l'une de l'autre, peuvent être nettement définies à l'aide des faits très clairs que le fonctionnement de la pile la plus simple met en évidence : tout le reste s'en déduit aisément.

On a indiqué la théorie sommaire et les dispositions principales des systèmes télégraphiques nouveaux appelés *téléphoniques*, parce qu'ils sont relativement simples ; mais on n'a pas cru devoir exposer les systèmes complexes à transmissions multiples ou à composition préalable qui ne peuvent pas rentrer dans le cadre d'un livre élémentaire.

Enfin, comme dernière observation, ce cours renferme, si l'on fait les expériences indiquées, la matière d'environ 40 leçons d'une heure : on a indiqué, comme renseignement, par un chiffre inscrit, à côté du titre de chaque section, le nombre approximatif de leçons qu'on y peut consacrer.



INTRODUCTION

PREMIÈRE IDÉE SOMMAIRE D'UN SYSTÈME DE TÉLÉGRAPHIE

Manipulateur. — Quand on entre pour la première fois dans un bureau télégraphique, on entend tout d'abord deux bruits de nature différente : celui que font les télégraphistes qui transmettent les dépêches en mettant leurs *manipulateurs* en mouvement : celui des appareils (*récepteurs*) qui produisent les signaux dont la lecture constitue la réception des dépêches.

Que font les télégraphistes qui *manipulent*? (voir planche 1.)

Ceux qui travaillent à l'appareil Morse (fig. 1) mettent en contact une petite masse métallique *a* avec une autre masse *b* ; puis ils cessent ce contact, puis le reproduisent, et cela alternativement, pendant des temps variables.

Ceux qui travaillent à l'appareil à cadran tournent une manivelle ; mais en réalité, ils produisent le contact alternatif d'une lame métallique *a* avec deux petites masses métalliques *b* (fig. 2).

Ceux qui travaillent à l'appareil Hughes ne font pas autre chose. Une masse *a*, tournant autour d'un axe vertical XY (fig. 5), au-dessus d'une plate-forme circulaire percée de trous, est mise de temps en temps en contact

avec des tiges métalliques *b*, soulevées dans les ouvertures à l'aide d'un mécanisme spécial.

Nous pouvons donc prendre pour exemple l'appareil et le système télégraphique Morse : ce que nous en dirons s'appliquera aux autres systèmes.

Les masses *a* et *b* sont reliées à des fils métalliques.

Pile. — Suivons le fil attaché à *b*. Il nous conduit à une extrémité, *h*, d'un appareil formé d'une série de vases contenant des liquides, reliés les uns aux autres à l'aide de lames ou fils métalliques : à l'autre extrémité, *K*, est attaché un gros fil qui est plongé dans la terre, ordinairement par l'intermédiaire de l'eau d'un puits. Cet appareil s'appelle *pile*. Là se produisent des actions que nous analyserons plus tard et d'où résultent les effets appelés *électriques* qui sont la base même de la télégraphie.

Cette pile, au premier abord, paraît inerte. Mais si on touche avec les doigts humides les deux bouts *h* et *k*, à chaque contact (si le nombre des vases est assez grand) on sent une contraction musculaire plus ou moins forte parcourir le corps. Cet effet ne se produit (notons bien ce point) que lorsqu'on réunit *les deux* extrémités de l'appareil par l'intermédiaire des mains, des bras et du corps. Si l'on ne touche qu'un bout, il ne se produit rien.

Revenons maintenant au manipulateur.

Boussole ou Galvanomètre. — Suivons le fil qui est relié à la masse *a*. Nous arrivons à un appareil *B* formé d'une aiguille en acier *aimanté* (nous verrons plus tard l'explication de ce mot) mobile sur un pivot vertical, à l'intérieur d'un cadre en bois sur lequel le fil est enroulé plusieurs fois. C'est ce qu'on nomme la *boussole* ou le *galvanomètre*.

Chaque fois qu'on met en contact les masses *a* et *b*, il n'y a plus d'interruption dans le trajet de la pile à la boussole, et on voit l'aiguille de celle-ci dévier brusquement vers la droite ou vers la gauche.

Cette déviation est un effet de la pile analogue à la contraction musculaire indiquée ci-dessus, car si, le contact entre *a* et *b* étant établi, on détache le fil au point *c*, en le tenant d'une main et en touchant avec l'autre le point *c*, on éprouve à chaque contact une contraction. Cette expérience prouve : 1^o que la déviation de la boussole est, comme la contraction musculaire, une manifestation de l'effet électrique de la pile, manifestation visible à l'œil, plus simple, plus commode, plus précise que l'autre, et dont nous nous servirons désormais pour nous assurer si une pile fonctionne convenablement ; 2^o que, au delà de la boussole, il doit y avoir quelque part une communication avec l'extrémité *K* de notre pile (sans quoi la contraction musculaire n'aurait pas lieu, ainsi qu'on l'a indiqué plus haut).

Fil conducteur ou Ligne. — Mais au delà de la boussole, nous trouvons un fil métallique conducteur ou *ligne* qui a des dizaines ou des centaines de kilomètres de longueur. Suivons-le jusqu'au bureau auquel il aboutit. Il arrive d'abord à une boussole *B*₁, qui éprouve en même temps que *B* les mêmes déviations ; puis par l'intermédiaire d'un manipulateur *M*₁ arrive à l'une des extrémités *L*₁ de deux bobines de fil de cuivre recouvert de soie, à l'intérieur desquelles se trouvent deux noyaux en fer, ou en acier aimanté. Au-dessus de ces noyaux une palette en fer, mobile autour d'un axe, exécute autant de mouvements de va-et-vient que les boussoles *B* et *B*₁ éprouvent de déviations.

Electro-aimant et Récepteur. — Nous avons donc là une troisième manifestation de l'effet de la pile *P*, manifestation remarquable parce qu'elle est *à la fois sensible à l'œil et à l'oreille*, et que le mouvement mécanique qui en résulte est susceptible de produire des signaux à l'aide d'un alphabet convenu.

Cet appareil, nommé *electro-aimant*, est la pièce prin-

cipale du *récepteur télégraphique*, dont la forme est d'ailleurs variable.

Les mouvements de l'électro-aimant prouvent que le point de réunion de notre fil conducteur à l'extrémité K de notre pile (qui doit *nécessairement* exister) se trouve au delà des bobines qui le constituent et qui se terminent au point marqué T_1 .

Mais si nous suivons le fil attaché en ce point, nous trouvons qu'il aboutit à la terre : et si, détachant ce fil de T_1 et le tenant d'une main, nous touchons de l'autre ce même point T_1 , notre corps ainsi interposé entre la terre et le fil non interrompu qui vient de h , en suivant le trajet $h a c d f f_1 d_1 b_1 L_1 T_1$, éprouve une contraction à chaque mouvement de la palette de l'électro-aimant et des boussoles.

Il faut nécessairement en conclure que la réunion qui doit se trouver entre l'extrémité de la ligne et l'extrémité K de notre pile P, s'opère par l'intermédiaire de la terre, et que cette pile fonctionne ainsi comme si les deux bouts h et K étaient réunis par le corps d'un homme, ou comme si le fil conducteur, à partir de T_1 , revenait sur ses pas jusqu'au bureau de départ et aboutissait au point K (c'est ce qui avait lieu dans les premières années de la télégraphie).

En résumé, le système qui vient d'être décrit forme un système, ou, comme on dit, un *circuit électrique* ou *télégraphique complet et fermé* : et les éléments principaux de ce système sont :

I. — L'appareil qui produit l'électricité ou les effets électriques, la *Pile*.

II. — L'effet électrique produit considéré en lui-même : on le nomme *Courant électrique*.

III. — L'appareil qui sert à constater l'existence du courant et à en mesurer les variations : *Boussole* ou *Galvanomètre*.

IV. — L'appareil qui sert à utiliser d'une manière con-

vnable la production des courants, ou *Manipulateur*.

V. — Le *Fil conducteur* ou la *Ligne* qui sert à transmettre au loin le courant.

VI. — L'*Électro-aimant* et le *Récepteur* qui transforment les effets électriques en effets mécaniques, facilitant ainsi la formation de signaux.

VII. — Enfin la *Terre*, considérée au point de vue de son rôle par rapport à l'électricité.

Ainsi donc : Pile, Courants électriques, Galvanomètre, Manipulateur, Ligne télégraphique, Électro-aimant et Récepteur, Terre, tels sont les titres que nous sommes conduits à donner, et que nous donnerons en effet, aux principales divisions ou sections de ce cours. Nous adopterons du reste l'ordre dans lequel nous venons de les ranger : c'est en effet un ordre très logique, et c'est en même temps l'ordre naturel de succession des diverses opérations qui constituent l'échange de dépêches télégraphiques électriques.

PREMIÈRE SECTION

LA PILE

Idée générale d'un élément de Pile. — Considérons une des piles usitées en télégraphie ; nous voyons d'abord qu'elle se compose de plusieurs parties identiques les unes aux autres : ce sont les *Éléments* de la Pile.

Examinons un de ces éléments. Nous y trouvons, quelle que soit la pile considérée :

1^o Un liquide plus ou moins *actif* : c'est de l'*Eau* contenant un peu d'un liquide corrosif appelé *acide sulfurique* dans la plupart des piles ou du *chlorhydrate d'ammoniaque*, comme dans la pile Leclanché.

2^o Un métal sur lequel le liquide agit : c'est du *Zinc* qui est attaqué, usé, non détruit, mais transformé en une autre substance, transformation toujours accompagnée d'effets électriques.

3^o Une substance qui n'est pas attaquée par le liquide, qui ne sert qu'à recueillir en quelque sorte l'effet électrique produit dans un élément pour le transporter à l'élément suivant.

C'est tantôt une lame de *cuivre* (Piles Daniell, Calland) ; tantôt un morceau de *charbon* compact (Pile Marié-Davy, Bunsen, Leclanché).

A la rigueur, ainsi qu'on le verra, cela suffit pour pro-

duire l'effet spécial qu'on nomme courant électrique, en réunissant à l'aide des mains ou d'un fil métallique la substance attaquée et celle qui ne l'est pas, et formant ainsi un *circuit fermé* (comme le circuit télégraphique indiqué ci-dessus).

Mais on verra aussi que de l'action du liquide actif sur le métal attaqué résulte une substance nommée *Hydrogène*, nuisible au bon fonctionnement de la pile, et dont il est nécessaire d'annihiler l'effet. On a été ainsi conduit à ajouter aux trois substances précédentes :

4° Une substance capable de faire disparaître l'hydrogène, ou plutôt de le transformer en un corps inoffensif, l'*Eau* par exemple : c'est le *sulfate de cuivre* (Piles Daniell, Calland) ou le *sulfate de mercure* (Pile Marié-Davy) l'*acide azotique* dans la pile Bunsen, le *oxyde de mangane* dans la pile Leclanché.

Dans les piles dont nous nous servons en télégraphie, il n'y a pas autre chose. Mais il est évident que si nous voulons comprendre le mode d'action de ces diverses substances les unes sur les autres, il faut auparavant les étudier, au moins sommairement, en elles-mêmes et dans leurs rapports. Cette étude est du ressort d'une science spéciale nommée chimie. On est ainsi conduit à faire précéder l'étude de la pile, au point de vue électrique, de quelques notions de chimie appliquée aux substances que la pile met en œuvre.

NOTIONS DE CHIMIE

Si l'on examine avec attention les diverses substances ou corps de la nature, on voit qu'ils subissent des transformations ou modifications continues. Ces transformations s'opèrent soit en dehors de l'action directe de l'homme, comme par exemple la transformation de l'eau en vapeur qui se condense ensuite à l'état de pluie ou

neige : soit sous l'action des moyens dont nous disposons : telle est la transformation de l'eau en vapeur dans la chaudière d'une machine à vapeur.

Les Forces. — Ces moyens dont nous disposons, ou comme on dit habituellement les *forces* que nous pouvons appliquer aux corps matériels pour les transformer ne sont pas très nombreuses, quoiqu'elles produisent les effets les plus variés. Les principales sont : la *force musculaire* de l'homme ou des animaux ; la *force du vent* ; la *force* résultant des chutes d'eau qui n'est qu'un cas particulier de la force plus générale nommée *pesanteur ou poids* ; la *chaleur* du soleil ou de divers cembustibles dont nous nous servons ; l'*électricité* ; la *lumière* qui est aussi une force susceptible de transformer certains corps, comme dans la *photographie* ; enfin la cause encore inconnue qu'on nomme *action ou force chimique*, qui agit entre les particules les plus petites des corps et qui est la source des plus étonnantes transformations.

On range les modifications éprouvées par les corps sous l'action de ces forces, ou en d'autres termes, les effets de ces forces dans 2 catégories.

Effets physiques. — 1^e *Effets physiques* qui ne persistent pas quand la force ou cause qui les a produits a cessé, la substance momentanément modifiée ne différant en rien de ce qu'elle était avant la modification qu'elle a subie.

Exemple : l'eau par la *chaleur* est réduite en vapeurs ; mais ces vapeurs refroidies reforment l'eau primitive (fig. 1).

2^e *Effets chimiques*, qui persistent après que la cause qui les a produits a cessé, là où les substances résultant des modifications diffèrent de la substance primitive.

Exemple. — Le fulmi-coton enflammé se réduit en vapeurs qui ne ressemblent en rien à la substance primitive.

Tous les corps qui nous entourent sont les résultats de ces deux espèces d'effets.

Corps composés. — En immense majorité, ces corps sont complexes, formés par la juxtaposition de deux ou plusieurs substances différentes : on les appelle *corps composés*. Exemple : l'eau, l'acide sulfurique, le papier...

Corps simples. — Quelques-uns sont *simples* c'est-à-dire qu'on n'a pu jusqu'ici en retirer qu'une seule sub-

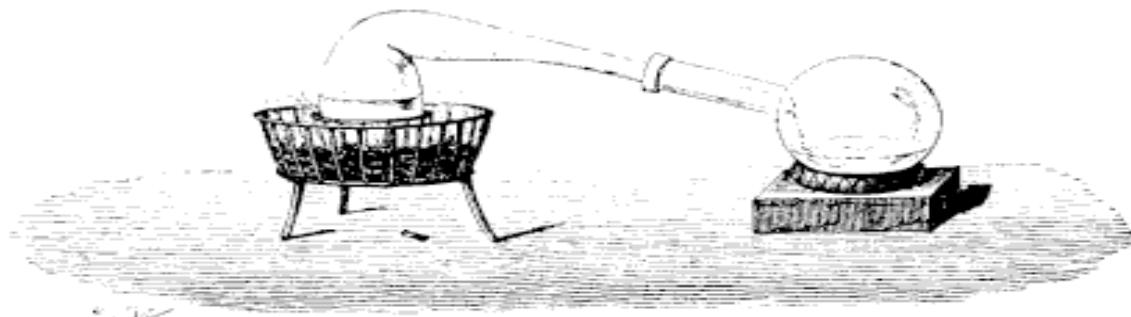


Fig. 1.

stance. Tels sont le fer, le cuivre, le zinc, etc. Ces corps simples dont la réunion produit toutes les substances de la nature sont aujourd'hui au nombre de 67 seulement.

Voici ceux qui nous intéressent plus spécialement en télégraphie avec la désignation abrégée qu'on leur applique :

Oxygène, Hydrogène, Azote, Chlore. (Corps gazeux).

O H Az Cl

Mercure. (Corps liquide).

Hg

Charbon, Soufre, Zinc, Fer, Cuivre, Platine, Manganèse (Corps solides).

C S Zn Fe Cu Pt Mn

Un mot d'abord sur ceux de ces corps qu'on appelle des métaux, en nous restreignant au point de vue télégraphique.

Platine. — Le platine est un métal blanc ; c'est le plus lourd, le plus rare et le plus précieux des métaux. Il est à peu près inaltérable à l'air et résiste très longtemps à l'action spéciale des étincelles électriques. C'est pourquoi il est employé en télégraphie pour recouvrir l'extrémité des pièces métalliques dont le contact détermine le passage des courants électriques.

Mercure. — Le mercure est un métal liquide, très mobile, extrêmement utile en physique et en chimie : c'est la substance qui remplit les baromètres et les thermomètres. Jusqu'ici on n'utilise en télégraphie que la substance qui résulte de sa combinaison avec l'acide sulfurique, le sulfate de mercure.

Fer. — Tout le monde connaît le fer, ses propriétés et ses usages. Il sert en particulier à former les lignes télégraphiques aériennes. A cet effet, on le recouvre préalablement d'une couche de zinc (nous verrons pourquoi tout à l'heure) et on a ce que l'on appelle le fer *galvanisé*.

Zinc. — Le zinc est l'élément principal de nos piles : nous aurons plusieurs fois dans la suite à nous occuper de ses propriétés.

Cuivre. — A l'état de lames métalliques, ou à l'état de sulfate de cuivre, c'est un élément très important de nos piles. A l'état de fil recouvert de soie, il sert à faire les bobines de galvanomètres et d'électro-aimants. Allié à l'étain et au zinc, il forme le bronze et le laiton qui servent à la construction du plus grand nombre des pièces de nos appareils télégraphiques.

Quant au manganèse, il n'a pas encore d'utilité par lui-même ; mais l'un de ses oxydes est utilisé dans l'une de nos piles.

Nous n'avons pas à étudier toutes les propriétés générales des métaux ; mais il y a deux de ces propriétés qui nous intéressent spécialement et sur lesquelles il est bon d'insister un peu.

I. Précipitation des métaux de leurs dissolutions. — La plupart des métaux placés dans des liquides convenables disparaissent au sein de ces liquides comme un grain de sel par exemple fond et disparaît dans l'eau. On a alors ce qu'on appelle une dissolution du métal : c'est un liquide (incolore ou coloré) contenant une certaine quantité du métal.

Or la plupart des métaux jouissent de la propriété de se remplacer les uns les autres dans leurs dissolutions (fig. 2).

Ainsi, si on verse dans un verre une dissolution incolore d'argent, de l'azotate d'argent par exemple, et si on y plonge une lame de cuivre, immédiatement de l'argent se dépose, se *précipite*, comme on dit, sur la lame, dont une partie se dissout à sa place, car la liqueur d'abord incolore prend peu à peu la teinte bleue de l'azotate de cuivre. Au bout d'un certain temps, tout l'argent de la dissolution est précipité et remplacé par du cuivre.

De même une lame de fer précipite le cuivre du sulfate de cuivre ; une lame de zinc précipite le plomb d'une dissolution de plomb, et l'hydrogène d'une dissolution d'hydrogène, etc.

Nous verrons plus loin un effet de ce genre se produire dans nos piles.

Équivalents chimiques. — Ce n'est pas tout : si dans la 1^{re} expérience on pèse l'argent déposé et le cuivre dissous, on trouve que 52 grammes de celui-ci se sont substitués à 108 de celui-là. On trouve également que 28 grammes de fer se substituent à 52 grammes de cuivre dans le sulfate de cuivre. Les poids 108 grammes d'argent, 52 grammes de cuivre, 28 grammes de fer sont donc *équivalents* les uns aux autres.

On nomme *nombre équivalents chimiques* ou *équivalents chimiques* les poids des corps qui peuvent ainsi se substituer les uns aux autres dans des combinaisons analogues : on les rapporte actuellement à 1 gramme d'hydrogène pris pour terme de comparaison.

Il en résulte que les lettres qui représentent les nom-



Fig. 2.

des divers corps simples représentent aussi un certain poids de chacun de ces corps. Ainsi les lettres H, O, Az, Fe, Cu, Ag... etc., signifient non seulement hydrogène, oxygène, azote, fer, cuivre, argent, mais encore 1 gramme d'hydrogène, 8 grammes d'oxygène, 14 grammes d'azote, 28 grammes de fer, etc.

Si dans une opération chimique quelconque on veut indiquer simplement qu'on emploie 2, 5, 4... fois le poids équivalent d'un corps, comme l'oxygène par exemple, on écrit 0², 0⁵, 0⁴, ou 20, 50, 40... suivant qu'on trouve l'une de ces notations plus commode que l'autre, et l'on dit qu'on a pris 2,5,4... équivalents d'oxygène, ce qui signifie 16 grammes, 24 grammes, 32 grammes... de ce corps.

II. Oxydation. — Une autre propriété générale des métaux s'appelle oxydation. Elle consiste en ce que la plupart des métaux exposés à l'air se recouvrent plus ou moins vite d'une pellicule terne, constituant un corps différent. La chaleur convenablement appliquée facilite cette transformation.

L'oxydation est caractérisée :

1^o Généralement par un changement de couleur.

Le fer qui est gris devient rouge brun ou noir.

Le zinc — devient blanc.

Le cuivre qui est rouge, à mesure qu'on le chauffe de plus en plus à l'air, devient d'abord rose puis tout à fait noir.

Le mercure liquide et blanc, devient solide et rouge, etc., etc.

2^e Par une augmentation de poids.

Le métal, pesé avec soin avant son oxydation, devient de plus en plus lourd à mesure qu'il s'oxyde davantage. Il吸orbe donc nécessairement pendant cette opération un élément pesant, et c'est ainsi que se forme une nouvelle substance appelée *oxyde*, qui recouvre d'abord la surface du métal. A partir du moment où une couche d'oxyde est produite et où le métal en est complètement

recouvert, il peut arriver deux cas. Ou bien l'oxydation continue de la surface vers l'intérieur, de proche en proche, jusqu'à ce que tout le métal soit transformé en oxyde : c'est par exemple le cas du fer qui se change entièrement en *rouille*, oxyde particulier de fer. Ou bien l'oxydation s'arrête à la première couche et forme à la surface du métal une sorte de vernis qui en protège l'intérieur : c'est le cas du zinc par exemple, et voilà pourquoi on emploie pour les lignes télégraphiques aériennes du fil de fer recouvert d'une couche de zinc : on le préserve ainsi contre l'action de l'air qui le changerait en rouille.

C'est un illustre savant français, Lavoisier, qui découvrit à la fin du siècle dernier que cette transformation des corps nommée oxydation s'opérait aux dépens d'un élément de l'air, *l'oxygène*, et qui précisa nettement le rôle si important (comme on va le voir tout à l'heure) de cet élément dans les principaux phénomènes de la vie animale et végétale.

Nomenclature des oxydes. — Un même métal peut former ainsi en s'unissant à des poids variables d'oxygène divers oxydes, dans lesquels un ou plusieurs équivalents du métal peuvent être combinés à un ou plusieurs équivalents d'oxygène. Il a donc fallu adopter des règles pour l'écriture et la nomenclature de ces oxydes. Si un équivalent du métal, le manganèse par exemple, Mn, est uni à un équivalent d'oxygène, O, on écrit la combinaison : MnO et on l'appelle *protoxyde* de manganèse.

S'il y a 2 équivalents d'oxygène, on écrit MnO² et on dit *bioxyde* de manganèse.

S'il y a 3 équivalents d'oxygène, on écrit MnO³ et on dit *trioxyde* de manganèse et ainsi de suite.

On trouve souvent 5 équivalents d'oxygène unis à 2 équivalents du métal, on écrit alors : Mn²O⁵ et on dit *sesquioxyde* de manganèse.

On trouve aussi souvent un équivalent d'oxygène uni à

2 équivalents du métal, dans les composés du cuivre et du mercure par exemple : on écrit alors :

$\text{Cu}^{\circ}\text{O}$ et on dit : *sous-oxyde* ou *oxydule* de cuivre.

$\text{Hg}^{\circ}\text{O}$ — — — — de mercure.

Il est clair que l'*équivalent* d'un oxyde est la somme des équivalents des 2 corps qui le forment. Ainsi l'équivalent du bioxyde de manganèse MnO° est égal à la somme de un équivalent de manganèse, 27 gr. 9 et de 2 équivalents d'oxygène ou 16 grammes : c'est-à-dire 45 gr. 9.

Si dans une opération chimique on a besoin de plusieurs équivalents d'un oxyde, on écrit ce nombre d'équivalents devant la formule de l'oxyde. Ainsi 5MnO° signifie 5 équivalents de bioxyde de manganèse. Mais il est clair que cette formule est équivalente à celle-ci : $\text{Mn}^{\circ}\text{O}^{\circ}$, ou à toute autre qui, calculée en grammes, donnerait le même résultat, comme $\text{Mn}^{\circ}\text{O}^{\circ} + \text{O}^{\circ}$ par exemple, pourvu que le corps $\text{Mn}^{\circ}\text{O}^{\circ}$ existe, ce qui a lieu en effet.

Ajoutons que le phénomène de l'oxydation ne se borne pas seulement aux corps que nous appelons métaux, mais encore à tous les corps simples.

OXYGÈNE

L'oxygène entre dans la composition de la plupart des corps composés naturels, notamment dans l'air et dans l'eau. 100 litres d'air contiennent 21 litres d'oxygène et 79 litres d'un autre élément nommé azote. 9 grammes d'eau contiennent 8 grammes d'oxygène et un gramme d'hydrogène.

Préparation de l'oxygène. — Pour en obtenir une certaine quantité à l'état de pureté, on fait une opération inverse de l'oxydation : on *défait* des oxydes. C'est

très facile pour certains d'entre eux qui perdent leur oxygène sous l'action d'une température élevée; tels sont par exemple les oxydes d'argent et de mercure (fig. 5).

On met une certaine quantité d'oxyde rouge de mercure dans une cornue en verre; on ferme le tube avec un bouchon percé d'un trou; on engage dans ce trou un tube en verre étroit et recourbé dont l'extrémité plonge dans l'eau d'une terrine. On chauffe l'oxyde à la flamme d'une lampe à alcool; il se dégage d'abord

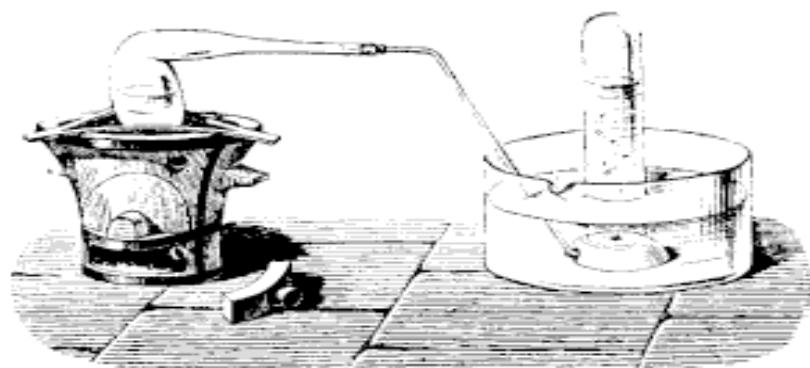


Fig. 5.

l'air des tubes puis l'oxygène de l'oxyde. Pour le recueillir, on remplit d'eau un vase en verre qu'on renverse dans l'eau en fermant avec soin l'ouverture; en ouvrant ensuite cette ouverture quand elle est sous l'eau, le vase reste plein. Alors, les bulles d'oxygène qui se dégagent étant plus légères que l'eau montent au haut du vase en déplaçant le liquide. C'est là le procédé très simple qu'on emploie pour recueillir des gaz, c'est-à-dire des substances semblables à l'air plus légères que les liquides et qu'on ne peut conserver que dans des vases fermés.

Propriétés de l'oxygène. — I. Combustion. — L'oxygène est l'agent principal de la combustion, c'est-à-dire

de l'acte par lequel les corps brûlent avec flamme ou sans flamme. C'est lui qui fait brûler notre bois, notre charbon, notre huile, nos bougies, etc.; sans lui pas de chauffage ni d'éclairage possibles, autres que le chauffage et l'éclairage par le soleil.

Quoiqu'il soit mêlé dans l'air à une grande quantité d'un gaz inerte, il suffit à produire et à entretenir les combustions ordinaires.

Mais quand il est seul, son action devient d'une énergie extraordinaire.

Ainsi il rallume instantanément avec éclat un corps présentant un point en ignition.

Combustion du soufre. — Si on place un morceau de soufre dans un petit godet en terre, soutenu par un fil de fer fixé à un large bouchon; si on enflamme un

point du soufre et si on le plonge dans un flacon contenant de l'oxygène pur et un peu d'eau, le soufre brûle avec un grand éclat en produisant des fumées blanches qui se dissolvent dans l'eau, au moins en partie (fig. 4).



Fig. 4.

Le liquide recueilli présente alors les caractères suivants :

1^o Il y a un goût caractérisé par le mot acide;

2^o Il rougit la teinture bleue de tournesol ou de violettes.

Combustion du Charbon. — Dans les mêmes circonstances le charbon brûle avec incandescence en produisant un gaz incolore qu'on dissout en partie dans l'eau en agitant le flacon.

Cette dissolution a aussi un goût acide (celui de l'eau de Seltz); elle rougit aussi la teinture de tournesol.

De plus (c'est un caractère important à noter) si on y verse de l'eau de chaux, c'est-à-dire de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre de la chaux, cette eau limpide se

trouble immédiatement et laisse déposer une substance blanche qui n'est autre que de la *craie* (expérience comparative avec de l'eau de Seltz).

Combustion du Sodium. — En prenant au lieu du soufre et du charbon un métal particulier, nommé *Sodium*, qu'on extrait des cendres des végétaux marins, qui entre dans la composition des savons, du verre, du sel, etc., on obtient un résidu de combustion, qui, dissous dans l'eau, présente des caractères inverses des précédents.

Il a le goût fade du savon.

Il ramène au bleu la teinture de tournesol rougie par les dissolutions précédentes provenant du soufre et du charbon.

Il verdit la teinture de violettes.

Combustion du fer. — Enfin une spirale de fil de fer portant à son extrémité un morceau d'amadou allumé, brûle dans l'oxygène pur, en lançant des étincelles brillantes, et en donnant un résidu d'un brun noirâtre, qui ne se dissout pas dans l'eau, et ne présente aucun des caractères signalés ci-dessus (fig. 5).

Les résidus de ces quatre combustions sont des *oxydes* puisqu'ils résultent de l'union de l'oxygène avec des substances combustibles ; mais ils peuvent servir à définir des classes différentes de corps ainsi qu'il suit :

Acides. — Bases. — Corps

neutres. — On appelle *acides* des corps composés qui ont une saveur aigre et qui rougissent la teinture bleue de tournesol quand on peut les dissoudre⁴.



Fig. 5.

4. Ces définitions sont incomplètes : les unes ne s'appliquent pas à tous les acides, à toutes les bases, notamment à ceux de ces corps

On appelle *bases* des corps composés qui ramènent au bleu la teinture de tournesol rougie par un acide, quand on peut les dissoudre*, et qui verdissent la teinture de violettes.

On appelle *corps neutres*, des corps qui n'exercent ni l'une ni l'autre des deux actions précédentes.

Les résidus de la combustion du soufre et du charbon présentent les caractères des acides ; aussi les appelle-t-on : le premier *acide sulfureux* ; le second, *acide carbonique*.

Le résidu de la combustion du sodium présente au contraire les caractères des bases ; on l'appelle *oxyde de sodium ou soude*.

Enfin le résidu de la combustion du fer est un corps neutre.

Sels. — On appelle *sel*, un corps composé qui résulte de la combinaison d'un acide avec une base.

Telle est la combinaison, citée plus haut, de l'acide carbonique avec la chaux qui est une base : c'est la craie ou *carbonate de chaux*. La combinaison de l'acide sulfureux avec la soude s'appelle *sulfite de soude*.

Ces définitions sont indispensables à connaître ; les mots qu'elles définissent font partie du langage chimique même le plus élémentaire.

Revenons aux propriétés de l'oxygène.

II. Respiration. — L'oxygène est l'agent principal de la respiration des animaux et des plantes.

La respiration des animaux se compose de deux actes : 1^o l'aspiration dans laquelle l'oxygène de l'air pénètre dans les poumons, brûle le charbon contenu dans le sang noir qui arrive au cœur par les veines et produit de l'a-

qu'on ne peut dissoudre, l'autre ne s'applique pas à tous les sels ; mais elles suffisent pour une première étude sommaire de la chimie : pour les compléter, il faudrait entrer dans des développements qui dépasseraient de beaucoup les limites que nous devons nous imposer ici.

cide carbonique et de l'eau. Le sang devenu ainsi rouge passe ensuite dans les artères.

2^e L'expiration par laquelle l'animal rejette l'eau et l'acide carbonique.

En effet si on respire sur une paroi refroidie, cette paroi se recouvre bientôt de gouttelettes d'eau.

Si on souffle par un tube de verre dans de l'eau de chaux limpide contenue dans un vase, on la voit immédiatement se troubler par suite de la formation de *carbonate de chaux* (fig. 6).

Quant aux plantes, elles absorbent par leurs parties vertes l'acide carbonique résultant de la respiration des animaux, elles conservent le charbon qui sert à fortifier leur tige et elles rejettent l'oxygène.

C'est par suite de cet admirable mécanisme que la quantité d'oxygène de l'air arrête la même depuis des milliers d'années.

Il serait d'une grande importance, on le comprend, de pouvoir extraire aisément l'oxygène de l'air qui le contient en quantité si considérable. On a beaucoup cherché la solution de ce problème et on la cherche encore, bien que, dans ces derniers temps MM. Tessié et du Motay en aient donné une qui paraît devenir d'un usage industriel.

Pour les besoins des laboratoires, on peut avoir d'assez grandes quantités d'oxygène en calcinant du bioxyde de manganèse, MnO_2 , qui est un produit naturel, dans une cor-



Fig. 6.

nue en grès C fortement chauffée au charbon de bois à l'intérieur d'un fourneau à réverbère B (fig. 7); on obtient un nouvel oxyde Mn^5O^4 , nommé oxyde rouge de manga-

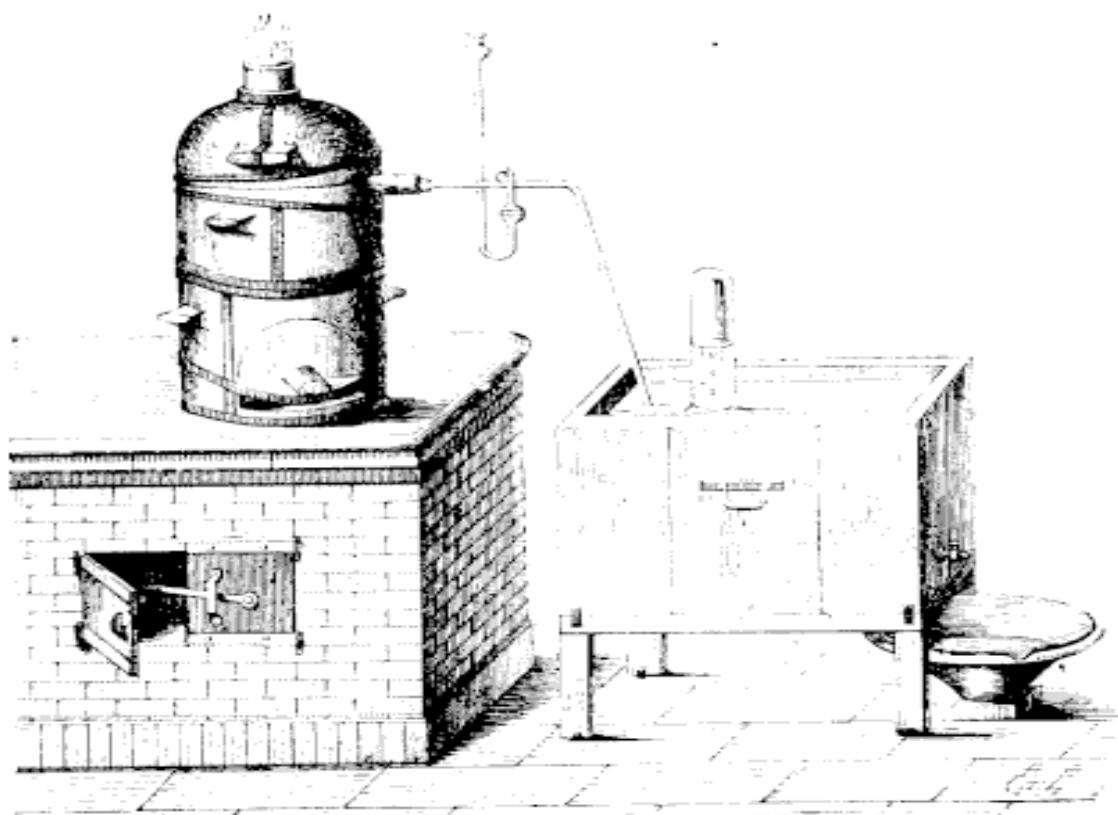


Fig. 7.

nèse. Les égalités suivantes peuvent exprimer la réaction :
 $5 (MnO^2) \rightleftharpoons Mn^5O^4 \rightleftharpoons Mn^3O^4 + O^2 \rightleftharpoons$ qui se dégage.

Nous indiquerons plus loin un procédé meilleur et plus expéditif pour préparer l'oxygène.

AIR ET AZOTE

L'air est un mélange de cet élément, l'oxygène, que nous venons d'étudier, et d'un autre élément gazeux inerte, impropre à entretenir la combustion et la respiration.

Il est facile de le démontrer, et de préparer ce second élément nommé *azote*. Il suffit d'opérer dans un volume limité d'air une des combustions déjà opérées dans l'oxygène, celle du soufre, du charbon, ou mieux encore du phosphore. On place un morceau de phosphore dans un godet en terre sur un bouchon flottant sur l'eau (fig. 8). On allume le phosphore et on le recouvre avec une cloche en verre. Il se forme de l'acide *phosphorique* en fumées blanches qui se dissolvent dans l'eau, tandis que celle-ci s'élève dans la cloche.

Quand le phosphore est éteint, on peut constater que le gaz qui reste sous la cloche éteint une bougie allumée et asphyxie un animal.

A quoi sert donc dans l'air un pareil élément?

Il sert : 1^o à tempérer l'action si énergique de l'oxygène quand il est pur ; 2^o il sert à la nutrition des plantes : c'est la partie la plus importante des engrains.

L'air contient encore beaucoup de substances en quantité extrêmement petite, parmi lesquelles il faut en distinguer deux : *La vapeur d'eau* ; c'est elle qui ruisselle le long des carreaux d'une chambre chaude en hiver, ou sur les parois d'un vase contenant un liquide refroidi : *L'acide carbonique*, car de l'eau de chaux exposée à l'air se recouvre peu à peu d'une pellicule blanche de carbonate de chaux. (fig. 9).

Analyse de l'air. — Nous avons dit plus haut que l'air est formé de 4/5 d'oxygène pour 4/5 d'azote.

Pour le prouver et faire ce qu'on appelle l'analyse de l'air, on enferme un certain volume d'air jusqu'en un



Fig. 8.



Fig. 9.

point *a* dans une cloche en verre graduée E contenant un bâton de phosphore. Le phosphore brûle lentement sans flamme en formant de l'acide *phosphoreux* avec l'oxygène

qui disparaît peu à peu. L'eau monte jusqu'à un point et quand tout l'oxygène a disparu, on constate que le volume de l'azote qui reste est égal à 4 fois le volume de l'eau montée (fig. 40).

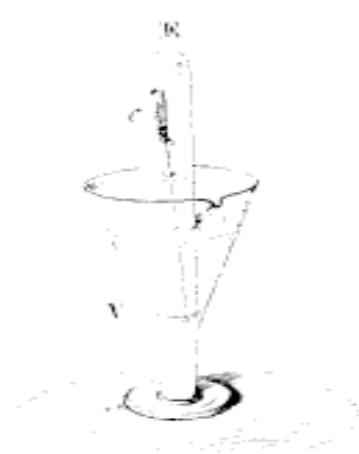


Fig. 10.

tient, pour 100 grammes, 25 grammes d'oxygène et 77 grammes d'azote.

Il y a des méthodes beaucoup plus précises que celle-ci pour déterminer la composition de l'air. Nous ne pouvons les indiquer ici. Notons seulement qu'on a déterminé avec une précision extrême la composition de l'air *en poids* : on a trouvé qu'il con-

Combinaisons de l'azote avec l'oxygène. — Ces combinaisons sont nombreuses : nous les indiquons dans le tableau ci-dessous qui renferme leur formule et les poids d'oxygène qu'elles contiennent rapportés à un équivalent d'azote.

	Az	O	FORMULES.
Protoxyde d'azote.	14 st	8 st = 8 × 1	AzO
Bioxyde d'azote.	14	16 = 8 × 2	AzO ²
Acide azoteux.	14	24 = 8 × 3	AzO ³
Acide hypoazotique	14	32 = 8 × 4	AzO ⁴
Acide azotique . .	14	40 = 8 × 5	AzO ⁵

Parmi les propriétés de ces corps nous noterons seulement les suivantes :

Le bioxyde d'azote mis au contact de l'air吸爾
immédiatement l'oxygène et se transforme en acide
hypoazotique.

$$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_5$$

L'acide azotique AzO^3 est l'acide azotique *anhydre* c'est-à-dire *sans eau*, ou plutôt *sans hydrogène*; il est mal nommé, car il n'a pas les propriétés indiquées ci-dessus comme caractérisant les acides. Le véritable acide azotique est formé du précédent plus les éléments de l'eau, qui, ainsi que nous allons le voir a pour formule HO : c'est donc AzO^3HO ou AzO^3H : on devrait l'appeler *azotate d'eau* ou *d'hydrogène*. C'est un acide énergique, mais facilement décomposable: il a par suite une remarquable action oxydante.

Enfin l'acide hypoazotique AzO^4 a la propriété de se dédoubler par sa dissolution dans l'eau en acide azotique et en bioxyde d'azote, suivant la formule $3(\text{AzO}^4) + 2(\text{HO}) = 2(\text{AzO}^3\text{HO}) + \text{AzO}^2$.

Loi des proportions multiples. — L'ensemble des combinaisons oxygénées de l'azote constitue une vérification remarquable de l'une des lois les plus générales de la nature. On voit que les poids d'oxygène dans ces combinaisons sont entre elles comme les nombres simples, 1,2,3,4 et 5. Lorsque deux corps se combinent en plusieurs proportions, il en est toujours ainsi. C'est la loi dite des *proportions multiples*.

Nomenclature des acides oxygénés et des sels. — Lorsqu'un même corps forme avec l'oxygène deux combinaisons acides, on termine le nom de ce corps par la désinence *ique* dans la plus oxygénée, et par *eux* dans celle qui l'est le moins. Exemple: acides azotique et azoteux. Un acide moins oxygéné que l'acide en *ique* mais plus oxygéné que l'acide en *eux* est terminé en *ique* et précédé de la particule *hypo*: acide hypoazotique. Un acide moins oxygéné que l'acide en *eux* est aussi précédé de *hypo*, et un acide plus oxygéné que l'acide en *ique* est précédé de la particule *per* ou *hyper*. Exemples: acide *hyposulfureux*, acide *perchlorique*.

Quant aux sels que ces acides forment, on change *ique* en *ate*, *eux* en *ite* dans le nom de l'acide et on ajoute

le nom de la base ou du métal. Exemple : azotate de soude ou de sodium; carbonate de chaux ou de calcium; sulfite de potasse ou de potassium; hypochlorite de chaux, etc.

Telles sont les règles principales de la nomenclature des acides et des sels oxygénés : nous en trouverons par la suite d'autres applications.

HYDROGÈNE

L'hydrogène est un gaz incolore comme l'oxygène et l'azote, qui entre dans la composition de la plupart des corps composés naturels. Dans l'eau notamment il est combiné avec l'oxygène dans la proportion de un gramme d'hydrogène pour huit grammes d'oxygène; de telle sorte que l'eau se trouve être un *oxyde d'hydrogène*.

Préparations de l'hydrogène. — I. On peut extraire l'hydrogène de l'eau au moyen d'une substance susceptible d'être brûlée par l'oxygène de l'eau.

Certains métaux comme le potassium¹, le sodium¹..... décomposent ainsi l'eau à froid en formant des oxydes avec l'oxygène et en mettant l'hydrogène en liberté.

D'autres, tels que le fer, ont besoin d'être préalablement chauffés au rouge pour opérer la même décomposition.

II. En déplaçant l'hydrogène d'une dissolution de ce corps au moyen d'un métal, par analogie à la précipitation des métaux les uns par les autres.

On prend la substance nommée *acide sulfurique hydraté*, ou simplement acide sulfurique, qui est en réalité un *sulfate d'eau* ou un *sulfate d'oxyde d'hydrogène*, ou enfin un *sulfate d'hydrogène*, et qu'on peut, par suite, regarder comme une dissolution d'hydrogène.

1. On représente ces deux métaux importants par les symboles K (du latin Kalium) et Na (du latin Natrium).

En y plongeant une lame de zinc, ce métal déplace l'hydrogène, comme nous l'avons vu déplacer le plomb d'une dissolution de plomb, et se dissout à sa place pour former du sulfate de zinc. On arrive au même résultat avec du fer (fig. 12).

Pour recueillir commodément le gaz, on se sert d'un flacon en verre à deux tubulures : dans l'une pénètre un tube A, muni d'un entonnoir *e*, par lequel on verse de l'acide sulfurique sur des morceaux de zinc ou de fer *c* recouverts d'une couche d'eau *E* (destinée à dissoudre le sulfate à mesure qu'il se produit); à l'autre tubulure est adapté un tube B en verre



Fig. 11.

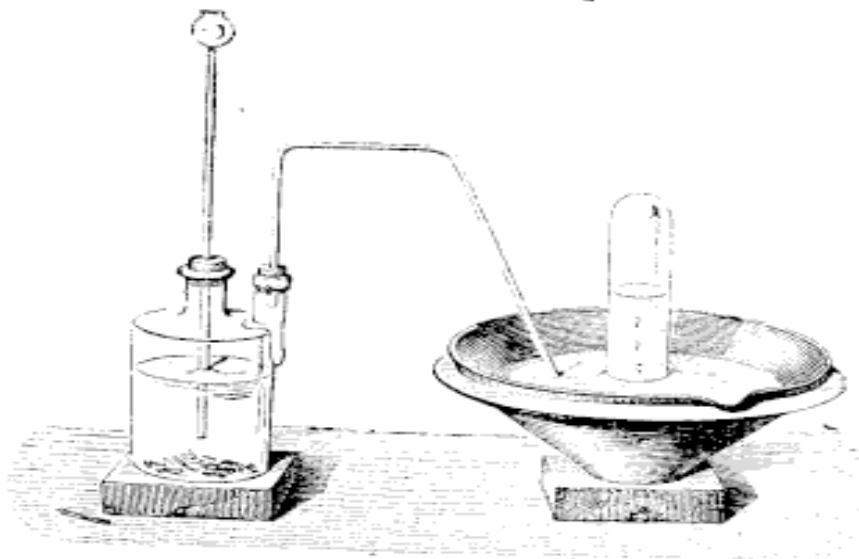


Fig. 12.

recourbé, propre à conduire le gaz dans les vases où on veut le recueillir.

Il y a lieu de faire au sujet de cette préparation une remarque importante. Si au lieu de se servir de zinc du commerce qui contient toujours des substances étrangères telles que du soufre et de l'arsenic, on prend du

zinc pur obtenu par distillation, la surface du zinc se recouvre d'une couche d'hydrogène, mais tout dégagement de gaz s'arrête immédiatement. On obtient le même résultat en recouvrant la surface du zinc ordinaire d'une couche *d'amalgame* de zinc c'est-à-dire d'alliage de zinc et de mercure, produit en trempant simplement pendant quelques instants le zinc décapé dans du mercure. — Nous reviendrons plus tard sur cette observation.

Propriétés de l'hydrogène. — L'hydrogène est le plus léger de tous les gaz; il pèse, à volume égal, environ quatorze fois moins que l'air, et environ seize fois moins que l'oxygène; de sorte que si un litre d'hydrogène pesait un gramme, un litre d'oxygène en pèserait seize. — C'est là la raison de l'emploi de ce gaz pour gonfler les ballons.

L'hydrogène passe très facilement à travers toutes les substances poreuses : il traverse même des plaques de fer et de platine quand elles sont chauffées au rouge. C'est en vertu de cette propriété qu'il traverse les vases poreux de nos piles.

L'hydrogène est le seul gaz qui soit assez bon conducteur de la chaleur et de l'électricité : en cela il se rapproche des corps métalliques auxquels le rattache du reste l'ensemble de ses propriétés, si bien qu'il y a lieu de le considérer comme un métal gazeux.

Combustion. — La combustion de l'hydrogène peut s'opérer de plusieurs manières :

1° Par l'oxygène de l'air.

Il suffit d'allumer un jet d'hydrogène sortant par un tube effilé, le gaz brûle dans l'air avec une flamme pâle, très peu éclairante, mais très chaude.

Le résultat de la combustion est de l'eau ; en faisant brûler le gaz dans l'axe d'un large tube en verre, on voit en effet, au bout de peu de temps, des gouttes d'eau ruisseler le long du tube (fig. 45).

2^o Par l'oxygène d'un oxyde métallique, avec l'aide de la chaleur.

Par exemple l'oxyde noir de cuivre, chauffé à la flamme

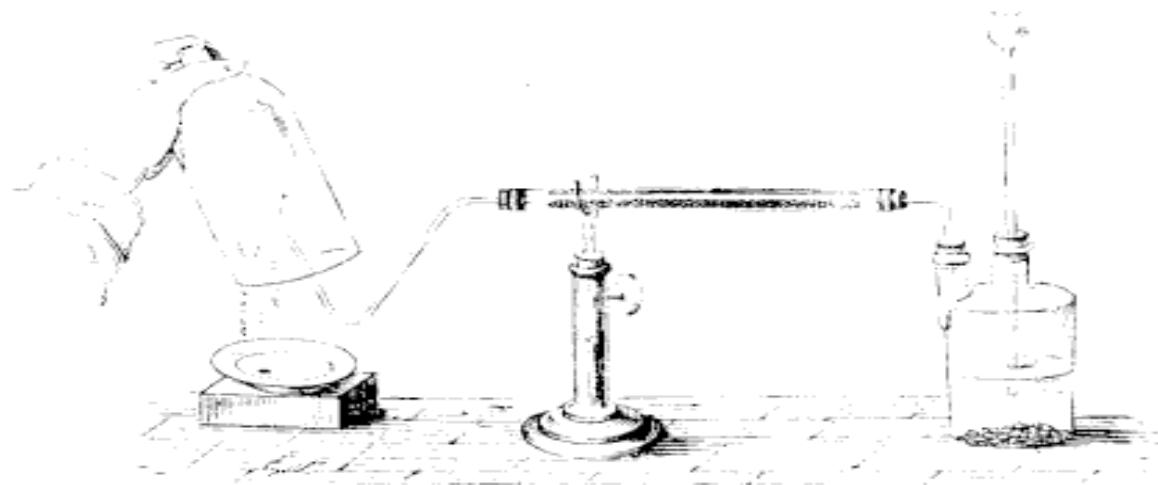


Fig. 15.

d'une lampe à alcool dans un tube en verre traversé par un courant d'hydrogène, se décompose en oxygène qui brûle l'hydrogène au passage en produisant un jet de

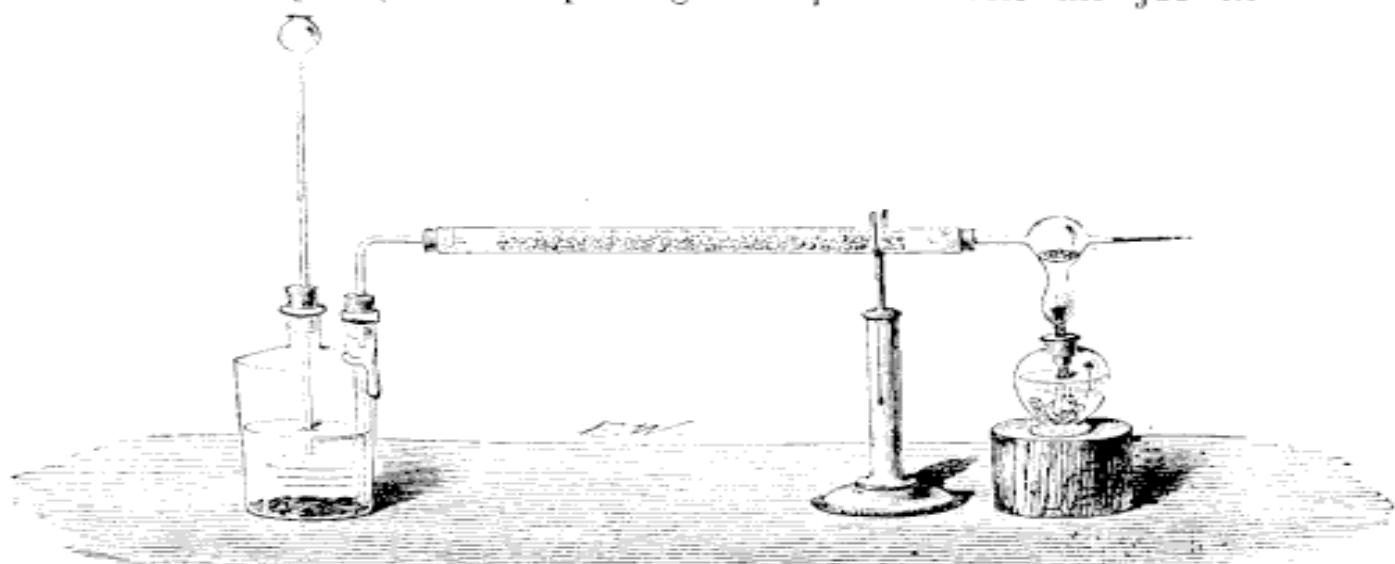


Fig. 14.

vapeur d'eau, et en cuivre qui se dépose sur les parois du tube (fig. 14).

(Cette opération porte le nom de *réduction des oxydes par l'hydrogène*.)

5^e Enfin par l'oxygène de l'oxyde d'un sel.

Nous examinerons ce cas un peu plus tard en étudiant les sulfates de cuivre et de mercure.

Eau. — Dans tous les cas, il se produit toujours de l'eau.

Composition de l'eau. — Nous avons dit que cette eau, ou *oxyde d'hydrogène*, avait la composition suivante :

neuf grammes d'eau contiennent { un gr. d'hydrogène, huit gr. d'oxygène.

Or un litre d'air pèse environ un gramme ; l'hydrogène pesant quatorze fois moins que l'air, il faudra quatorze litres d'hydrogène pour avoir un poids de un gramme ; l'oxygène pesant seize fois plus que l'hydrogène, un gramme d'oxygène correspondra au seizième de quatorze litres et huit grammes d'oxygène à la moitié de quatorze litres ou à sept litres.

Si donc la composition de l'eau indiquée ci-dessus est exacte, en mélangeant 14 litres d'hydrogène avec 7 litres d'oxygène, ou ce qui revient au même, en remplissant les deux tiers d'un vase d'hydrogène et le troisième tiers d'oxygène, et faisant brûler le mélange, on devra produire de l'eau et il ne devra plus rester de gaz. C'est ce qu'on vérifie en effet.

En enflammant un pareil mélange à l'air on détermine même une violente explosion.

Il en résulte que l'eau est composée de deux litres d'hydrogène pour un litre d'oxygène : la vapeur d'eau qui résulte de cette combinaison n'occupe à cent degrés que deux volumes, de telle sorte que les éléments oxygène et hydrogène en se combinant se condensent en même temps, se pénètrent mutuellement de façon à occuper dans leur nouvel état un volume moindre de un tiers que la somme de leurs volumes primitifs. C'est un cas qui se présente plusieurs fois en chimie.

De plus l'eau, formée de un gramme d'hydrogène et de huit grammes d'oxygène, doit être représentée en abrégé par la formule H_2O , formée par la juxtaposition des lettres qui représentent chacun des éléments de l'eau avec les poids correspondant à sa composition.

Combinaison de l'hydrogène avec l'azote : Ammoniaque. — Après avoir étudié l'eau (H_2O), combinaison d'hydrogène et d'oxygène, nous avons à dire quelques mots de la combinaison d'hydrogène et d'azote nommée depuis longtemps *ammoniaque* ou *gaz ammoniac* ou enfin *alcali volatile*, et dont la formule chimique est NH_3 correspondant à quatorze grammes d'azote pour trois grammes d'hydrogène.

L'ammoniaque se trouve en petite quantité dans les pluies d'orage à l'état d'azotate d'ammoniaque. C'est un des produits de la décomposition spontanée des matières organiques azotées, et des oxydations lentes qui se produisent au contact de l'air humide : c'est ainsi qu'en chauffant avec une lampe à alcool dans un tube bouché de la rouille qui s'est formée sur du fer à l'air humide, il se dégage de l'ammoniaque : car un papier de tournesol rougi par un acide est immédiatement ramené au bleu, ce qui est le caractère d'une base.

Propriétés de l'ammoniaque. — L'ammoniaque est en effet une base énergique ; c'est un gaz incolore, d'une odeur très vive qui provoque le larmoiement. Il est extrêmement soluble dans l'eau. Il se combine avec les acides oxygénés tels que les acide azoteux HNO_3 et azotique HNO_2 que nous avons déjà vus, l'acide sulfurique H_2SO_4 que nous verrons bientôt... etc., pour former des sels *ammoniaques*. Ces sels contiennent toujours un équivalent d'eau, de sorte que leurs formules sont : NH_4NO_3 , NH_4NO_2 azotide ; NH_4NO_3 , NH_4NO_2 , azotate ; NH_4SO_4 , NH_4SO_3 , sulfate.... d'ammoniaque.

Ces sels présentant les mêmes propriétés que les sels correspondants de potassium, de sodium, SO_4^2- . K_2O , par exemple,

Ampère a imaginé de considérer le groupe AzH^3 comme un corps simple métallique qu'il nomma *ammonium*, et d'écrire par exemple la formule du sulfate d'ammoniaque $\text{SO}^5(\text{AzH}^3)\text{O}$ au lieu de $\text{SO}^5, \text{AzH}^3, \text{HO}$, ce qui la rend identique à celle des sulfates de potasse et de soude SO^5, KO , SO^5NaO . On a ainsi l'avantage de mettre dans les formules de ces corps composés l'analogie qui existe dans leurs propriétés. Cette considération suffirait à la rigueur pour légitimer la considération de ce groupe AzH^3 ; mais, de plus, il y a des expériences qui donnent à son existence une grande apparence de réalité : nous en verrons une un peu plus tard.

Combinée avec un acide hydrogéné, l'acide chlorhydrique, l'ammoniaque donne un sel nommé *chlorhydrate d'ammoniaque* (vulgairement *sel ammoniaque*), sur lequel nous reviendrons et qui est utilisé dans l'une des piles télégraphiques.

Préparation. — Pour préparer l'ammoniaque, on applique l'une des lois remarquables découvertes par Ber-

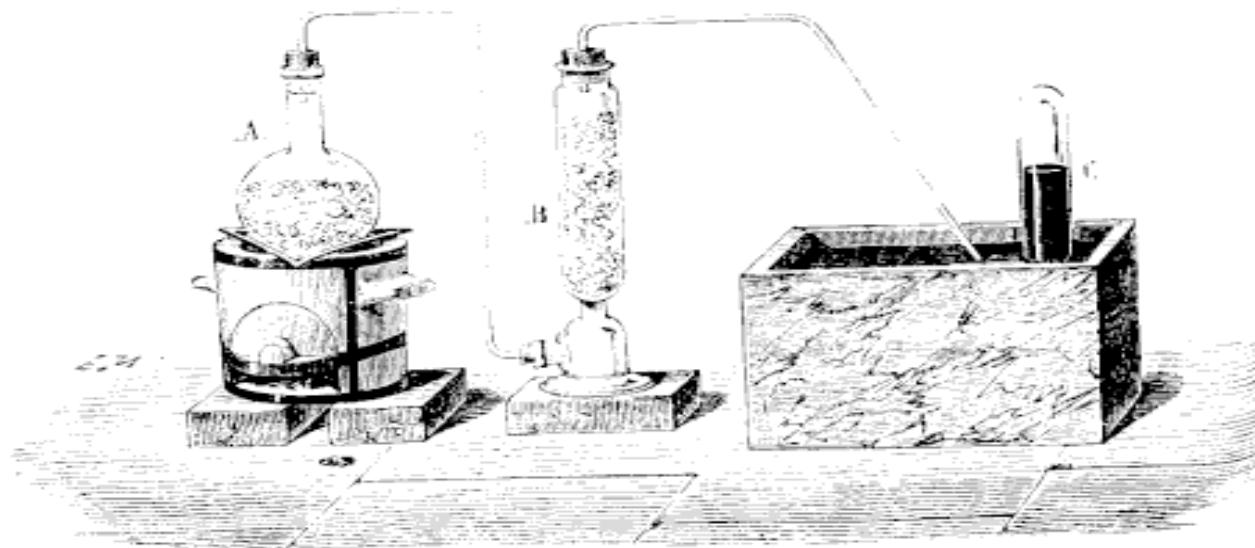


Fig. 45.

thollet, et qui consiste en ce qu'une base décompose un sel lorsqu'elle est moins volatile que la base du sel.

Rien de plus facile à réaliser pour l'ammoniaque, qui est une base gazeuse. On n'a qu'à faire un mélange d'un sel d'ammoniaque, le chlorhydrate par exemple, avec de la chaux en poudre, base solide, CaO . On en remplit les deux tiers d'un ballon en verre A, qu'on achève de remplir avec des morceaux de chaux et auquel on ajuste un tube en verre recourbé (fig. 15). En chauffant le ballon, l'ammoniaque se dégage et on la recueille sur le mercure si on veut la conserver gazeuse, dans l'eau si on n'a besoin que d'une dissolution du gaz, comme c'est l'habitude : l'opération terminée, il reste dans le ballon une combinaison qui a pour formule CaCl , appelée *chlorure de calcium* (Voir plus loin le chlore et ses composés).

CARBONE OU CHARBON

Le charbon existe en quelque sorte partout sous les formes les plus diverses : le graphite, le noir de fumée, le noir animal, le charbon de bois, les houilles..... etc., sont du charbon plus ou moins pur ; la plupart des corps organisés en contiennent.

Combinaisons avec l'oxygène. — On a vu que sa combustion par l'oxygène donne de l'acide carbonique. Nous pouvons dire maintenant que ce corps est formé par 6 grammes de charbon et 16 grammes d'oxygène, et qu'il doit être représenté par suite par la formule CO_2 , conformément aux conventions ci-dessus indiquées.

L'acide carbonique est le résultat de la combustion complète du carbone par l'oxygène. Il existe un autre corps résultant d'une combustion incomplète, nommé *oxyde de carbone*, et dont la formule est CO . Toutes les fois qu'un foyer au charbon est incomplètement allumé, l'acide carbonique au contact d'un excès de charbon se décompose et produit de l'oxyde de carbone, d'après

L'égalité : $\text{CO}_2 + \text{C} = 2(\text{CO})$. C'est un gaz très vénéneux dont il faut éviter avec soin la production : heureusement il est très combustible ; il brûle avec une flamme bleue en produisant de l'acide carbonique : $\text{CO} + \text{O} = \text{CO}_2$: c'est la flamme bleuâtre qu'on voit au bas de toutes les flammes.

En calcinant de la houille dans des vases en terre, nommés *cornues*, on produit le gaz de l'éclairage : le résidu de la calcination est le combustible appelé *coke*. Mais pendant la calcination il se fait sur les parois intérieures des cornues un dépôt de charbon très pur, très compacte, très dur, doué d'un certain éclat métallique et qu'on nomme *charbon des cornues*. Ce charbon a la propriété spéciale de n'opposer qu'une faible résistance aux mouvements électriques produits par les piles : de là son emploi en télégraphie, ainsi que nous le verrons bientôt.

D'autre part, pendant que la calcination s'opère, il se dégage du gaz de l'éclairage, du goudron, des sels ammoniacaux. Ce gaz et ce goudron contiennent des substances très importantes résultant de la combinaison du carbone et de l'hydrogène en proportions variables, et nommées *carbures d'hydrogène*.

Combinaisons avec l'hydrogène. — Le nombre de ces combinaisons actuellement réalisées s'élève à plusieurs centaines, et on en augmente tous les jours le nombre. Dans le gaz de l'éclairage il y en a 2 : C_2H_4 , nommé *proto carbure d'hydrogène*, *gaz des marais*, C_3H_6 , nommé *bicarbure d'hydrogène*, ou *éthylène*. Dans le goudron on en trouve un grand nombre, parmi lesquelles la *benzine* C_{12}H_6 et la *naphtaline*. Enfin, les principales essences, telles que l'essence de térébenthine, l'essence de citron.... etc., sont des carbures d'hydrogène.

Caoutchouc — Le caoutchouc se rattache directement à ces combinaisons ; on peut en extraire divers carbures d'hydrogène. La Condamine l'a fait connaître en 1751. On l'extract du suc laiteux de divers arbres qui croissent au

Brésil, à la Guyane, à Java : ce suc contient environ 51 pour cent de caoutchouc.

En mélangeant le caoutchouc avec du soufre chauffé vers 412 degrés ou dissous dans du sulfure de carbone, ce corps devient ainsi moins adhérent, et moins susceptible d'altération par suite des variations de température. On l'appelle alors *caoutchouc vulcanisé* : il sert à faire des objets imperméables, notamment des tubes, des enveloppes pour fils de cuivre.

Ce mélange de caoutchouc et de soufre exposé long-temps sous pression à l'action de la vapeur d'eau devient très dur et est susceptible d'un assez beau poli noir ; on le nomme alors *caoutchouc durci* ou *ébonite*. C'est un corps très isolant de l'électricité. Par suite, il est très employé pour faire des supports d'appareils électriques ; malheureusement il est d'un travail assez difficile, car il use rapidement les instruments. On évite aujourd'hui cet inconvénient en moultant quand on le peut les objets en caoutchouc avant de le dureir.

Gutta-percha. — La gutta-percha, comme le caoutchouc, se rattache aux carbures d'hydrogène : on peut en extraire plusieurs. C'est une substance dure, tenace, flexible, poreuse, qui ressemble à des rognures de cuir ou de corne. On la retire de la sève de l'arbre nommé *Isonandra percha* qui croît à Bornéo et en Chine.

Elle est insoluble dans l'eau, soluble dans l'essence de térébenthine, l'alcool, l'éther, les huiles extraites du goudron de houille ; mais elle n'est pas altérée par le goudron de bois, dit *goudron de Stockholm*. Chauffée, elle se ramollit ; on peut alors la travailler aisément ; elle est tout à fait molle dans l'eau bouillante. A la longue, quand elle est exposée à l'air, elle吸吸 de l'oxygène, se fendille et devient cassante.

C'est un corps très mauvais conducteur de l'électricité ; aussi sert-elle pour recouvrir les fils de cuivre destinés aux câbles électriques souterrains et sous-marins.

En la mélangeant avec du goudron de *bois* qui a la propriété de boucher ses pores, de la rendre ainsi plus étanche et moins altérable, on obtient ce qu'on nomme la *composition Chatterton*, du nom de l'inventeur; on emploie cette composition concuremment avec la gutta-percha.

Nomenclature des composés binaires non oxygénés. — Les carbures d'hydrogène nous offrent un type de corps composés binaires ne contenant pas d'oxygène. La règle générale pour nommer ces composés consiste à faire précéder le nom de l'un d'eux du nom de l'autre terminé en *ure*: ainsi *carbure d'hydrogène*, *sulfure de sodium*, *chlorure d'argent*.... etc. Quand il existe plusieurs composés de deux mêmes corps, on se sert pour les nommer des préfixes *proto*, *bi*, *tri*.... etc., comme pour les oxydes, et dans les mêmes cas. On dit ainsi : *protosulfure* de potassium K_2S , *bisulfure* de fer FeS_2 , *trisulfure* d'antimoine Sb_2S_3 , *sous-chlorure* de cuivre Cu^2Cl ,.... etc.

A cette règle il y a deux exceptions : 1° Les composés binaires de deux métaux se nomment *alliages*, ainsi : alliage d'or et d'argent. Quand l'un des métaux est le mercure, on dit *amalgame* en supprimant le mot mercure, ainsi *amalgame* de sodium; 2° les composés binaires hydrogénés acides peuvent être nommés d'après la règle générale, mais habituellement on emploie la terminaison *hydrique* ajoutée au nom du corps autre que l'hydrogène, ainsi : *acide sulphydrique* au lieu de *proto-sulfure d'hydrogène* HS , *acide chlorhydrique*, au lieu de *protochlorure d'hydrogène* HCl .

SOUFRE

Le soufre est un produit naturel qu'on trouve dans les terrains volcaniques dits *solfatares*, en Sicile, par exemple: il suffit de le séparer de sa gangue terreuse par fusion ^{ou}

distillation. C'est un corps solide jaune qui fond vers 111 degrés et bout vers 440 degrés.

Malgré sa différence d'aspect avec l'oxygène, il lui est complètement analogue. Ainsi la vapeur de soufre produit des combustions comme l'oxygène : par exemple de la tournure de cuivre placée dans un ballon en verre contenant de la fleur de soufre est portée à l'incandescence quand on fait bouillir le soufre (fig. 16).

Les résultats de ces combustions sont des *sulfures*, dont toutes les propriétés sont analogues à celles des oxydes correspondants.

Acide sulfureux

SO_2 . — Le soufre brûlant par l'oxygène pur ou même simplement par l'oxygène de l'air produit, ainsi qu'on l'a vu, un gaz acide, l'acide sulfureux. Cet acide est formé de 16 grammes de soufre et de 16 grammes d'oxygène, et doit être par suite représenté par la formule SO_2 (puisque S représente 16 grammes de soufre).

Acide sulfureux anhydre SO_3 . — L'acide sulfureux est en quelque sorte un premier degré de combustion du soufre. Un deuxième degré de combustion nous conduit au corps qu'on appelle acide sulfureux *anhydre* (c'est-à-dire *sans eau*), formé de 16 grammes de soufre et de 24 grammes d'oxygène, et dont la formule est par conséquent SO_3 .

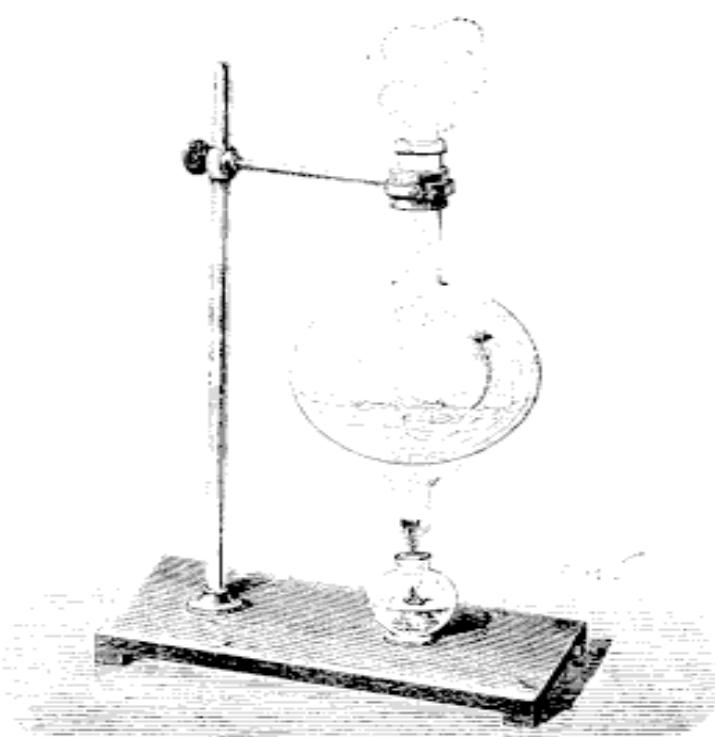


Fig. 16.

La combustion de l'acide sulfureux par l'oxygène qui conduit à ce nouveau corps ne peut s'effectuer *directement*; on est obligé d'avoir recours à un artifice, qui consiste à réunir les deux gaz mélangés dans l'intérieur des immombrables pores de corps spongieux, tels que *l'éponge* ou *mousse de platine*¹, ou bien le *noir de platine*¹, légèrement chauffés. Dans les interstices (d'une capacité infiniment petite) de ces corps, les deux gaz se trouvent (ainsi qu'on le démontre en Physique), soumis à une compression énorme, qui facilite leur combinaison. Dans ces conditions, il se produit un corps solide qui se dépose sous la forme de houppes soyeuses blanches, quand on le recueille dans un vase parfaitement sec.

Acide sulfurique hydraté ou sulfate d'eau $\text{SO}_3 \text{HO}$, — Le corps précédent, qui ne peut être conservé que dans des vases clos, ne nous servirait à rien. Mais si on le plonge dans l'eau, il se combine avec elle avec violence en formant un véritable *sel*, formé du corps acide précédent et de l'eau, qui peut être regardée comme une *base* (voir plus haut la définition des sels), et que nous pouvons par suite représenter par la formule $\text{SO}_3 \text{HO}$ en juxtaposant les formules de l'acide et de la base.

Ce corps, qui est un vrai *sulfate d'eau*, *sulfate d'oxyde d'hydrogène*, ou enfin, si on veut, un *sulfate d'hydrogène* (comme on dit sulfate de cuivre, sulfate de zinc...), porte habituellement le nom d'*acide sulfurique hydraté*, ou, par abréviation, *acide sulfurique*, simplement; mais il ne faut pas perdre de vue que c'est en réalité un sel, dans lequel l'hydrogène peut être remplacé par un métal, ainsi qu'on l'a vu dans la préparation même de l'hydrogène.

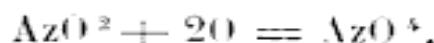
Ce corps a une importance extrême en Chimie et dans l'industrie, qui en consomme des quantités considérables. On le prépare en grand en brûlant l'acide sulfureux en

1. Ces corps s'obtiennent: le 1^{er} en calcinant un sel de platine convenable; le second en précipitant le platine de l'une de ses dissolutions.

présence de l'eau, par l'oxygène d'un corps composé très riche en oxygène et qui se décompose facilement : l'acide azotique. On fait arriver l'acide sulfureux dans une chambre dont les parois sont doublées de plomb (très peu attaqué par l'acide sulfurique), dans laquelle on fait couler de l'acide azotique : il se produit de l'acide sulfurique et de l'acide hypoazotique conformément à l'égalité suivante :



Mais en présence de la vapeur d'eau, AzO^2 (voir précédemment) se dédouble en acide azotique et bioxyde d'azote, $2(\text{AzO}^2) + 2(\text{H}_2\text{O}) \rightleftharpoons 2(\text{AzO}^3 \cdot \text{H}_2\text{O}) + \text{AzO}^2$, de telle sorte que l'acide azotique employé se trouve régénéré et peut, théoriquement au moins, servir indéfiniment : d'ailleurs le bioxyde d'azote au contact de l'air se transforme en acide hypoazotique :



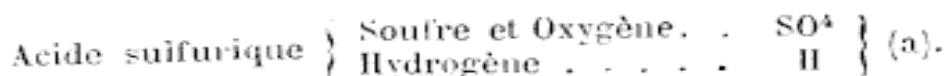
Il se fait ainsi une transformation continue très remarquable d'acide sulfureux en acide sulfurique, sous l'influence d'une certaine quantité d'acide azotique qui s'use très peu.

Propriétés de l'acide sulfurique. — Notons seulement les deux propriétés suivantes de l'acide sulfurique.

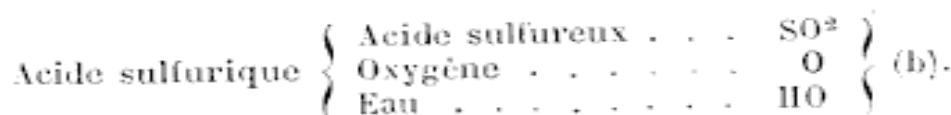
I. — C'est un des acides les plus énergiques que l'on connaisse. Une goutte délayée dans un litre d'eau rougit la teinture de tournesol.

II. — Une forte chaleur le décompose en acide sulfureux, eau et oxygène (c'est un moyen de préparer l'oxygène).

En considérant que l'acide sulfurique est un sulfate d'hydrogène, et que cet hydrogène peut être remplacé par un métal, on peut regarder les deux expressions ci-dessous comme équivalentes :



En considérant, d'autre part, la décomposition de ce corps par la chaleur en acide sulfureux, eau et oxygène, on peut considérer encore comme équivalentes ces deux expressions.



On peut employer dans les divers cas celle de ces expressions qui convient le mieux à l'objet qu'on se propose.

Sulfates. — En remplaçant dans l'acide sulfurique hydraté $\text{SO}^5\text{H}_2\text{O}$ l'eau par un oxyde métallique, ou, si l'on veut, dans l'expression (a) équivalente SO^4H , l'hydrogène par un métal, on obtiendra les divers sulfates métalliques.

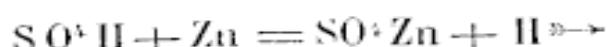
Trois d'entre eux nous intéressent : les sulfates de zinc, de cuivre, et de mercure.

Sulfate de zinc SO^5ZnO ou SO^4Zn . — Le sulfate de zinc s'obtient tout simplement par la substitution du zinc à l'hydrogène dans l'acide sulfurique hydraté. C'est le résidu de la préparation de l'hydrogène.

C'est un sel blanc extrêmement soluble dans l'eau.

Il se produit dans nos piles absolument comme dans la préparation de l'hydrogène.

La formule est SO^5ZnO , ou bien SO^4Zn



Sulfate de cuivre SO^5CuO ou SO^4Cu . — La substitution du cuivre à l'hydrogène, dans l'acide sulfurique hydraté, qui doit produire le sulfate de cuivre, peut s'opérer de deux manières :

1^o En exposant à l'air du cuivre arrosé d'acide sulfurique.

L'opération s'effectue ainsi à la longue : car l'acide agit très lentement à froid sur le cuivre. Il est même à noter que si l'acide est mêlé avec beaucoup d'eau, il n'y a pas d'action sensible : nous verrons prochainement une application de ce fait.

2^e En chauffant du cuivre avec de l'acide concentré.

Dans ce cas, en même temps qu'il se forme du sulfate de cuivre, il se dégage de l'acide sulfureux. On explique ce dégagement de la manière suivante :

Concevons l'acide divisé en deux portions : la première est décomposée (b) en acide sulfureux, eau et oxygène ; la deuxième peut être représentée (a) par SO^4H : cet hydrogène s'unit à l'oxygène libre de la première pour former de l'eau, et le cuivre vient le remplacer pour former le sulfate de cuivre SO^4Cu . On a ainsi : $\text{Cu} + 2(\text{SO}^4\text{H}) = \text{SO}^4\text{Cu} + \text{SO}^2 + 2\text{H}_2\text{O}$.

Le tableau ci-dessous représente clairement ce raisonnement :

Acide sulfurique	$\left\{ \begin{array}{l} \text{I.} \\ \text{II.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Acide sulfureux.} \\ \text{Eau.} \\ \text{Oxygène.} \\ \text{Hydrogène.} \\ \text{Soufre et Oxy.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{SO}^2 \longrightarrow \text{se dégage.} \\ \text{H}_2\text{O} \\ \text{O} \\ \text{H} \\ \text{SO}^4 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Eau H}_2\text{O} \\ \text{H}_2\text{O} \\ \text{Sulf. de cuiv. SO}^4\text{Cu.} \\ \text{Cu} \end{array} \right.$

Sulfate de mercure $\text{SO}^5\text{Hg}^2\text{O}$ ou SO^3Hg^2 . — Le sulfate de mercure s'obtient, comme le sulfate de cuivre, en chauffant du mercure avec de l'acide sulfurique concentré. Il se produit également de l'acide sulfureux, et on l'explique absolument de la même manière que ci-dessus. Il suffit dans le tableau précédent de remplacer le mot *cuire* par le mot *mercure*, et le symbole Cu par le symbole Hg^2 .¹

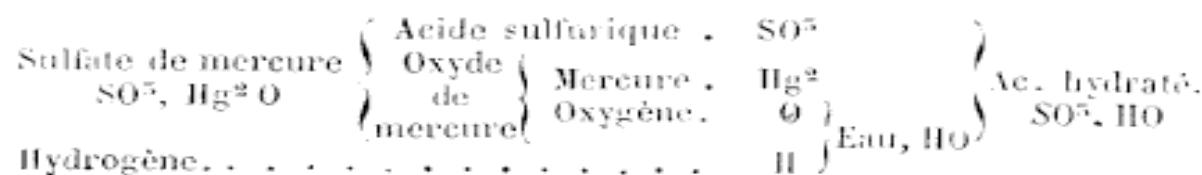
1. Le symbole Hg représente 100 grammes de mercure, Hg^2 en représente 200 grammes, combinés à 8 grammes d'oxygène dans l'oxyde de mercure du sulfate de mercure employé en télégraphie ; il y en a un autre dont la formule est SO^4Hg , et qu'on obtient, comme l'autre, en employant un excès de mercure et à une température différente. Le premier se nomme, en réalité, *sulfate d'oxyde de mercure*.

C'est un sel blanc qui se dissout difficilement dans l'eau, et qui attaque rapidement les métaux, comme le cuivre par exemple, propriété à noter quand on veut employer ce sel dans une pile. C'est un corps dangereux qu'il faut manier avec précaution.

Notons encore que les deux sulfates de cuivre et de mercure contiennent toujours un excès d'acide sulfurique : en effet de la teinture de tournesol mise en contact avec l'un et l'autre devient immédiatement rouge. Cette remarque est mise à profit dans nos piles.

Réduction des sulfates par l'hydrogène. — Lorsque les sulfates de cuivre et de mercure sont soumis à diverses influences telles que la chaleur ou l'action électrique que nous définirons prochainement, si on fait passer sur eux un courant d'hydrogène, l'oxygène de ces sels brûle cet hydrogène en formant de l'eau ; les métaux, cuivre ou mercure, sont mis en liberté, et il se forme de l'acide sulfureux hydraté.

Ces effets sont représentés par le tableau suivant :



[Un tableau identique représenterait l'action sur le sulfate de cuivre].

On fait l'expérience facilement, à l'aide de la chaleur seule, avec le sulfate de mercure S, placé entre deux tampons d'amiante, *a*, *b*, dans un tube en verre effilé, dont la pointe *C* plonge dans l'eau d'un vase (fig. 47). On chauffe le sel avec une large lampe à alcool *L*, sur toute sa longueur, pendant qu'on fait passer à l'intérieur du tube un courant d'hydrogène. Bientôt on voit des gouttelettes de mercure couler le long du tube à travers le tampon *b* et tomber dans l'eau par la pointe *C*.

Habituellement on mélange le sulfate de mercure avec

de la chaux qui se combine à l'acide sulfurique, à mesure qu'il se forme, en produisant ainsi du sulfate de chaux ou plâtre, qui reste dans le tube].

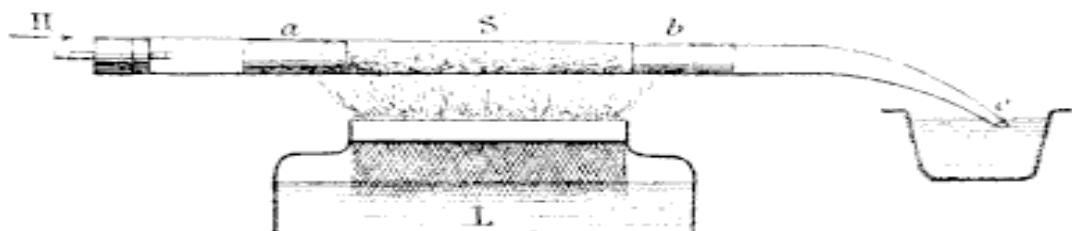


Fig. 17.

Nous allons voir bientôt cet effet remarquable se produire pour les deux sulfates, dans nos piles, sous l'influence de l'électricité.

CHLORE

Propriétés. — Le chlore se trouve principalement à l'état de chlorure de sodium à l'intérieur de la terre, dans les mines de sel gemme, et dans les eaux de la mer, où il est associé avec du chlorure de magnésium. C'est un gaz jaune verdâtre, d'une odeur suffocante, d'une saveur brûlante, qui est deux fois et demi plus lourd que l'air.

Il exerce sur la plupart des corps simples une action énergique.

C'est ainsi qu'il attaque tous les métaux, potassium, sodium, fer, cuivre, or, platine, etc. On montre aisément qu'une feuille d'or au bout d'une tige de verre disparaît dans de l'eau de chlore, et qu'une spirale de cuivre dont l'extrémité est chauffée au rouge brûle dans un flacon de chlore sec, comme nous avons vu brûler une spirale de fer dans l'oxygène (Voir page 25).

Les résultats de ces combustions sont des chlorures, corps analogues aux oxydes et aux sulfures.

L'une des plus remarquables et qui est caractéristique pour le chlore, c'est celle de l'hydrogène. Elle peut s'effectuer : 1^o *Directement*, en mélangeant des volumes égaux de chlore et d'hydrogène : soit lentement, sous l'action de la lumière diffuse ; soit brusquement et avec détonation sous l'action des rayons solaires, d'une étincelle électrique, ou d'une simple flamme ; on peut faire l'expérience très facilement en présentant à la flamme d'une bougie l'ouverture d'une éprouvette E préalablement remplie de volumes égaux de chlore et d'hydrogène (fig. 18). 2^o *Indirectement* dans les corps composés ; en

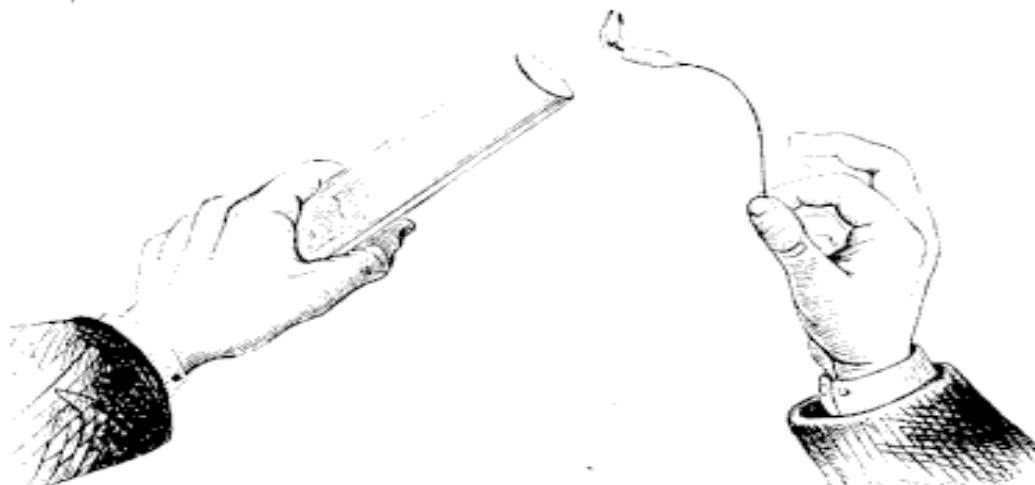
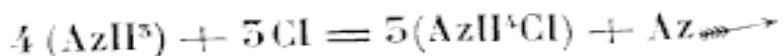


Fig. 18.

général, quand on met en présence dans des circonstances convenables un corps contenant de l'hydrogène et du chlore, celui-ci s'empare de l'hydrogène. Il en résulte deux sortes d'actions du chlore : d'abord une *action décolorante*, d'où résulte l'emploi du chlore pour le blanchiment des étoffes d'origine *végétale*, lin, coton, etc. (les tissus d'origine animale comme la laine et la soie sont non seulement blanchis, mais détruits par le chlore). C'est ainsi que l'encre ordinaire, formée d'oxyde de fer et d'un acide organique, est décolorée par le chlore qui détruit l'acide en lui enlevant de l'hydrogène¹. En se-

1. Après la décoloration, il reste de l'oxyde de fer qui se suroxyde

cond lieu le chlore exerce une *action désinfectante* en détruisant les gaz infects tels que l'ammoniaque, le sulfhydrate d'ammoniaque, l'acide sulfhydrique, dont l'hydrogène est enlevé par le chlore. Dans le premier cas il se produit du chlorhydrate d'ammoniaque AzH^3Cl et de l'azote, en vertu de la formule suivante :



On fait l'expérience aisément en remplissant les 9 dixièmes d'un long tube A d'eau de chlore concentrée et le dernier dixième d'ammoniaque en dissolution : en bouchant le tube avec le doigt, le renversant et le débouchant dans un verre d'eau on voit les bulles d'azote monter le long du tube (fig. 19).

En opérant avec l'acide sulfhydrique HS il se produit du soufre et de l'acide chlorhydrique HCl : $\text{HS} + \text{Cl} = \text{HCl} + \text{S}$; avec le sulfure d'ammonium AzHS , il se produit du chlorure d'ammonium et du soufre qui n'ont pas d'odeur : $\text{AzHS} + \text{Cl} = \text{AzH}^3\text{Cl} + \text{S}$.

Combinaisons avec l'oxygène.

— Le chlore se combine avec l'oxygène en plusieurs proportions. Ces combinaisons qui fournissent une application des règles de la nomenclature des acides et de la loi des proportions multiples, sont : l'acide perchlorique, ClO^7 ; l'acide chlorique ClO^5 ; l'acide hypochlorique, ClO^4 ; l'acide chloreux ClO^3 ; et l'acide hypochloreux ClO . Ce sont des corps très instables. Parmi

peu à peu, se transforme en sesquioxyde de fer ou rouille, et les caractères reparaisent en rouge brun : pour empêcher cet effet, il faut laver les caractères après la décoloration avec de l'acide chlorhydrique faible qui transforme l'oxyde de fer en chlorure de fer soluble dans l'eau et qui s'en va au lavage.

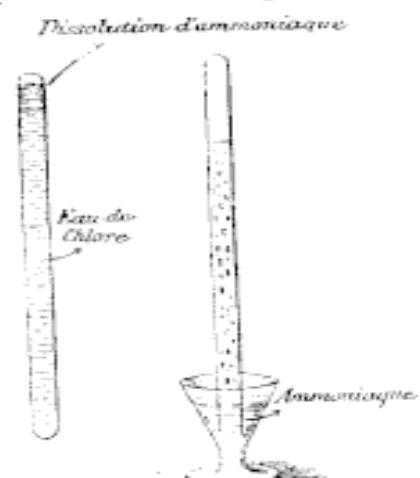


Fig. 19.

Leurs combinaisons nous citerons les hypochlorites de potasse, de soude et de chaux qui, mélangés avec les chlorures correspondants de potassium, de sodium, de calcium, forment ce qu'on nomme dans l'industrie les chlorures décolorants (le mot chlorure est ici détourné de son vrai sens): le premier est bien connu sous le nom d'eau de Javel, le dernier sous le nom de chlorure de chaux. Nous citerons aussi le chlorate de potasse, ClO_3K_2 , parce que c'est lui qu'on emploie ordinairement pour préparer l'oxygène en grande quantité. Il suffit en effet de le chauffer dans un ballon de verre pour lui faire perdre tout son oxygène; il reste comme résidu du chlorure de calcium KCl : $\text{ClO}_3\text{K}_2 = \text{KCl} + 6\text{O}_2 \uparrow$

Chlorures. chlorure d'hydrogène ou acide chlorhydrique. — Nous avons parlé plus haut des chlorures formés par la combinaison du chlore avec les métaux. Les principaux de ces corps sont le sel de cuisine ou sel marin, chlorure de sodium, NaCl ; le sous-chlorure de mercure Hg^2Cl ou calomel, le protochlorure de mercure HgCl ou sublimé corrosif, le chlorure d'argent AgCl , dont l'emploi constitue la base de la photographie; enfin le chlorure d'hydrogène ou acide chlorhydrique HCl .

Nous avons dit plus haut comment celui-ci résultait de l'action directe ou indirecte du chlore sur l'hydrogène. On le prépare habituellement par la réaction du chlore d'un chlorure comme le chlorure de sodium sur l'hydrogène de l'acide sulfurique: il en résulte de l'acide chlorhydrique et du sulfate de sodium, suivant la formule suivante:



L'acide qui est gazeux se dégage: on le recueille sur le mercure ou dans l'eau. On peut montrer simplement

1. On le mélange ordinairement avec du b oxyde de manganèse ou de l'oxyde de cuivre qui rendent le dégagement du gaz régulier, ce qui n'a pas lieu sans cela, et qui peuvent du reste servir pour plusieurs opérations.

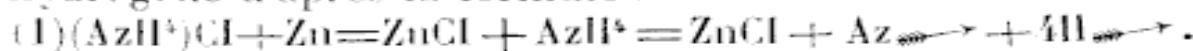
cette réaction en chauffant même très peu dans un tube bouché un peu de sel de cuisine sur lequel on verse quelques gouttes d'acide sulfurique : dès que l'acide arrive au contact du sel, on voit se dégager un gaz très acide.

Chlorure d'ammonium ou chlorhydrate d'ammoniaque. — Ce corps est un produit naturel qu'on peut extraire par exemple de la fiente des chameaux par distillation ; on l'obtient ainsi sous la forme de masses blanches transparentes, connues depuis longtemps sous le nom de sel ammoniac.

Il résulte également de l'action très énergique de l'acide chlorhydrique sur l'ammoniaque : il suffit de déboucher l'un à côté de l'autre deux flacons contenant l'un une dissolution d'acide chlorhydrique, l'autre une dissolution d'ammoniaque, pour voir se produire des fumées blanches de chlorhydrate d'ammoniaque.

Sa formule est $\text{AzH}^{\text{+}}\text{HCl}$, ou bien $(\text{AzH}^{\text{+}})\text{Cl}$.

Sous l'action de la chaleur, les métaux tels que le potassium, le sodium, le fer, le zinc, l'étain, etc., décomposent ce corps ; il se produit un chlorure du métal et de l'ammonium $\text{AzH}^{\text{+}}$ que la chaleur dédouble en azote et hydrogène d'après la formule :



Nous verrons un effet de ce genre se produire dans la pile Leclanché.

Le potassium et le sodium produisent cette décomposition même à froid, et si auparavant on les a amalgamés, l'ammonium forme avec le mercure un amalgame qui présente la consistance du beurre pendant que le métal s'unit au chlore :



On fait l'expérience en mettant dans le fond d'un tube ou d'un verre un peu d'amalgame de sodium et versant

dessus une dissolution concentrée de chlorure d'ammonium. L'amalgame d'ammonium se produit immédiatement en se boursoufflant beaucoup ; au bout de peu de temps il ne reste plus que du mercure et du chlorure de sodium.

Cette expérience à laquelle nous avons fait allusion (page 58) donne de la vraisemblance à l'existence de l'ammonium, en tant que corps composé jouant le rôle de corps simple.

Le chlorhydrate d'ammoniaque sert à décapier les métaux, c'est-à-dire à détruire la couche d'oxyde qui les recouvre presque toujours : aussi s'en sert-on pour souder. Les fers à souder sont en cuivre : avant de s'en servir pour fondre la soudure, après les avoir fortement chauffés, on les frotte sur un morceau de sel ammoniac ; sous l'action de la chaleur la réaction (1) ci-dessus se produit : le chlorure de cuivre formé se volatilise ; l'hydrogène

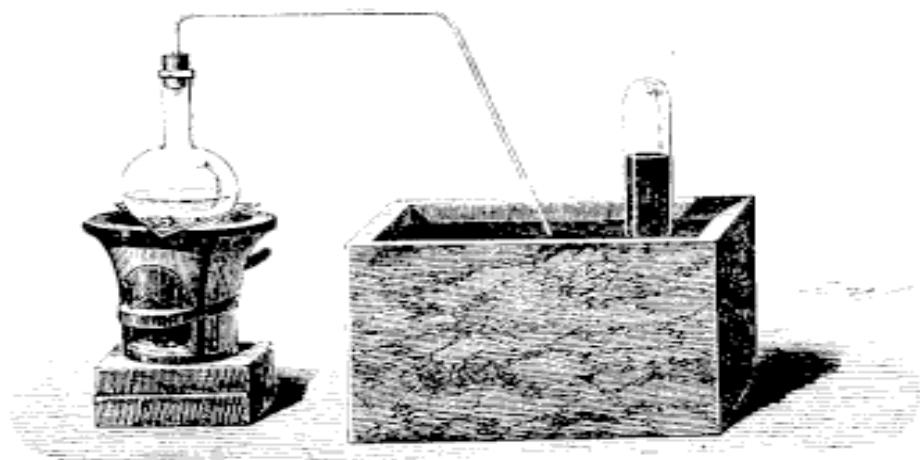


Fig. 20.

dégagé réduit l'oxyde de cuivre, c'est-à-dire forme avec son oxygène de l'eau qui s'évapore, et la surface du fer reste à nu parfaitement décapée.

Préparation du chlore. — On peut l'extraire d'un chlorure comme l'oxygène d'un oxyde, par la chaleur ; en chauffant par exemple du protochlorure de cuivre

CuCl , il se forme du sous-chlorure : $2(\text{CuCl}) \rightleftharpoons \text{Cu}^2\text{Cl} + \text{Cl} \rightleftharpoons$.

Ordinairement on profite de ce que certains métaux comme le manganèse ne peuvent former de bichlorures. Dès lors en traitant les bioxydes de ces métaux par deux équivalents de chlorure d'hydrogène, on n'obtiendra qu'un protochlorure, de l'eau, et un équivalent de chlore sera libre, suivant la formule suivante :



On réalise la réaction en chauffant dans un ballon de verre un mélange de bioxyde de manganèse et d'acide chlorhydrique (fig. 20).

Nous terminerons ici les notions de chimie qui doivent nécessairement précéder l'étude des piles électriques : nous les avons réduites à ce qui est strictement indispensable pour pouvoir faire convenablement cette étude.

EFFETS ÉLECTROSTATIQUES DES PILES

Une pile électrique est un appareil qui constitue quelque sorte le moteur de machines qui peuvent effectuer des travaux divers, et en particulier le travail télégraphique. La mise en œuvre de cet appareil fait apparaître divers phénomènes qui sont au fond de même nature, mais que nous diviserons comme on le fait d'habitude pour la clarté de l'exposition (sauf à montrer leur identité) en deux classes : les phénomènes dits *électrostatiques* et les phénomènes *électro-dynamiques*. Mais il est nécessaire auparavant d'étudier rapidement quelques faits généraux relatifs à ce qu'on appelle le développement de l'*électricité sur les corps*.

Électricité. Attractions et répulsions électriques.

— Lorsqu'on frotte deux corps ou qu'on les presse l'un contre l'autre et qu'on les sépare; lorsqu'on les soude et qu'on chauffe les points de soudure; lorsqu'on met en contact deux corps qui exercent l'un sur l'autre une action chimique... etc., on trouve que ces corps ont acquis des propriétés qu'ils n'avaient pas auparavant: on dit qu'ils sont *électrisés*¹, ou bien qu'ils ont acquis une certaine *charge, masse, ou quantité d'électricité* (ces trois mots: charge, masse, quantité, étant employés indifféremment l'un pour l'autre).

Les propriétés ainsi acquises par les corps se manifestent avec une grande énergie sous l'action du frottement: c'est pourquoi on se sert des corps frottés pour montrer les phénomènes les plus simples, les classer, et leur appliquer un langage conventionnel qui permet d'abréger beaucoup leur énoncé.

1^o On constate d'abord que les corps comme le verre, la résine, la soie, la gomme laque... frottés attirent des corps très légers comme des morceaux de papier, des barbes de plume, de petits morceaux de moelle de sureau, de soie... etc.: ces corps viennent se fixer sur la surface frottée (fig. 21).

Pour produire un phénomène à la fois plus simple et plus net on prend comme corps léger: soit une petite boule de moelle de sureau suspendue par un fil de soie à une tige de verre, soit une lame étroite découpée dans une feuille d'or; on a ainsi un système très mobile appelé *pendule électrique*. Dans ces conditions, une tige de verre ou de résine frottés attirent vivement la boule ou la lame, surtout si l'expérience est faite *dans une atmosphère d'air sec* (nous allons voir pourquoi tout à l'heure) (fig. 22).

1. Cette expression vient du mot grec *électron* qui signifie *ambre*, parce que c'est sur l'ambre frotté qu'on a découvert ces propriétés il y a plus de 2000 ans.

2^o Un corps léger attiré par un corps frotté *jusqu'au contact*, est ensuite vivement repoussé.

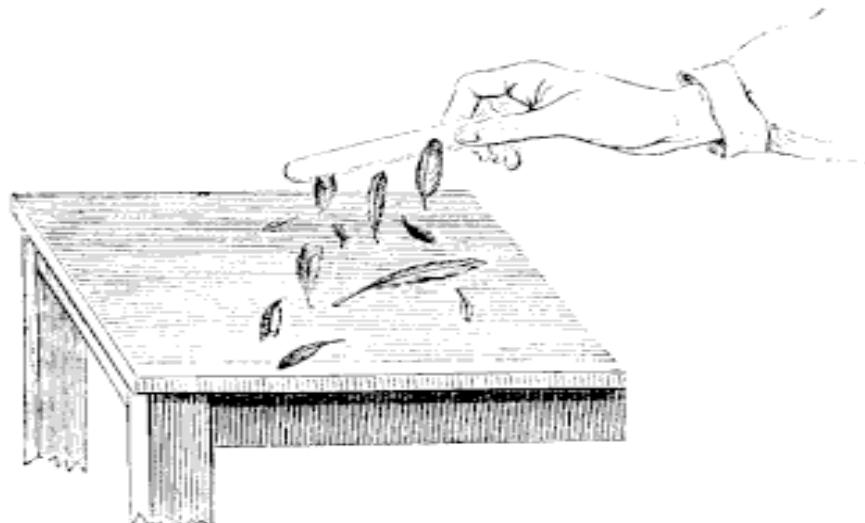


Fig. 21.

3^o Un corps léger ainsi repoussé peut être ensuite soit attiré, soit repoussé par un autre corps frotté.

Par exemple, une boule de sureau repoussée par le verre frotté avec du drap de laine après son contact avec lui, est vivement attirée par la résine frottée avec une peau de chat.

Les choses se passent donc comme si le verre et la résine frottés l'un avec de la laine, l'autre avec une peau de chat, étaient doués de propriétés contraires. En outre, on remarque qu'un même corps peut acquérir ces propriétés contraires suivant la nature de la substance frottante, par exemple le verre poli frotté avec de la laine ou une peau de chat.

4^o Un grand nombre de substances comme les métaux, le bois humide, le chanvre... frottés *quand on les tient avec la main*, ne produisent pas les attractions ou répulsions comme le verre, la résine, la soie...

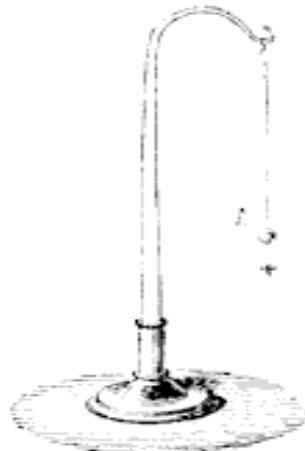


Fig. 22.

On en avait d'abord conclu que les métaux et les corps analogues ne pouvaient être *électrisés* par le frottement. Mais il n'en est pas ainsi : c'est une illusion qui s'explique par les faits suivants.

5^e L'électricité produite sur le verre, la résine et les corps analogues reste confinée sur les points qui ont été frottés : celle qui est développée en quelques points des métaux ou des corps analogues se répand instantanément sur toute l'étendue du corps frotté.

En effet, si on prend une longue tige en verre, si on la tient avec la main en un point, si on la frotte sur une petite longueur, les attractions et répulsions qui caractérisent l'*électrisation* se manifestent en tous les points de la partie frottée, mais nullement sur le reste de la tige.

Si on fait les mêmes expériences avec une tige métallique, *en ayant soin de séparer la tige de la main* à l'aide de l'un des corps de la catégorie précédente, avec de la soie par exemple, on reconnaît que tous les points sont électrisés. On reconnaît aussi d'ailleurs que les mains, le corps des animaux, le sol, sont à ce point de vue comparables aux métaux, ainsi que l'air humide, et on s'explique alors pourquoi un métal *tenu à la main* ne paraît pas s'électriser. En réalité, la quantité d'électricité développée se répand instantanément sur tout le métal, sur la main et le corps de l'observateur, et puis de là dans le sol où elle se dissémine sur une étendue énorme, ce qui la fait immédiatement disparaître.

On s'explique par là également la nécessité de faire les expériences indiquées ci-dessus dans une atmosphère *d'air sec*, l'électricité disparaissant rapidement à travers l'air humide.

Les faits qu'on vient d'exposer peuvent résulter, ainsi qu'on l'a dit, de diverses actions, frottement, compression, chaleur, action chimique... etc. On a été conduit pour les exprimer en abrégé à imaginer un langage de convention qui s'appliquât à tous les cas, et une hypo-

thèse sur la nature de la cause qui les produit, afin de relier provisoirement les uns aux autres des phénomènes ou des groupes de phénomènes semblables.

Hypothèse des deux fluides électriques positif et négatif. — I. On suppose que tous les corps de la nature contiennent, en quantité indéfinie, un fluide impondérable nommé *fluide électrique neutre* ou *électricité neutre*.

Fluide neutre. — II. Ce fluide neutre, c'est-à-dire sans action apparente, résulte de la combinaison de deux fluides en quantités égales doués de propriétés contraires, appelés l'un fluide *positif*, l'autre fluide *négatif*.

III. La décomposition du fluide neutre en ses deux éléments peut être opérée dans un corps par des causes multiples, frottement, chaleur, compression, action chimique... etc.; en général la plupart des actions de deux corps l'un sur l'autre la produisent et l'un de ces corps se charge de fluide positif, tandis que l'autre se charge de fluide négatif.

Ces hypothèses sont encore admises dans la science; elles expriment assez simplement non seulement les faits qui ont conduit à les émettre, cela va sans dire, mais encore la plupart de ceux du même genre qu'on en a déduits ou qu'on a successivement découverts depuis cent ans qu'elles ont été émises¹.

En admettant le langage qui est l'expression de ces hypothèses, et en étudiant les effets du développement des fluides positif et négatif sur les corps, on peut exprimer les phénomènes ci-dessus en disant : que deux corps chargés de fluides de même nom (positif ou négatif) tendent à se repousser; que deux corps chargés de fluides de nom contraire tendent à s'attirer; ces mouvements

1. Depuis quelques années, cependant, on fait de grands efforts afin de supprimer ces hypothèses et d'expliquer les faits électriques par un mouvement analogue à celui qui a servi à expliquer les phénomènes lumineux, et auquel on rattache aussi les phénomènes calorifiques.

d'attraction ou de répulsion se produisent réellement si les deux corps, ou au moins l'un d'eux, sont suffisamment légers et mobiles. C'est ce qu'on exprime habituellement sous cette forme abrégée :

Les fluides électriques de même nom se repoussent.

Les fluides électriques de nom contraire s'attirent.

Dans les expériences précédentes le verre frotté avec un drap de laine s'électrise *positivement*, la résine frottée avec une peau de chat *négativement*.

Conductibilité et résistance électriques, corps bons conducteurs.— De plus, les expériences comprises dans la 4^{me} et la 5^{me} catégorie conduisent à une notion nouvelle, celle de la *conductibilité électrique*, c'est-à-dire la propriété qu'ont les divers corps de transmettre les fluides électriques, de leur laisser un libre passage, et à la notion contraire de la *résistance électrique*, qui est, ainsi que son nom l'indique, l'inverse de la conductibilité.

On appelle corps *bons conducteurs* ceux au travers desquels la propagation s'opère en quelque sorte instantanément ; tels sont : les métaux, le charbon des cornues, la vapeur d'eau, le corps des animaux, la terre. Celle-ci agit à la fois par sa conductibilité propre et par son immense surface. Un corps chargé d'électricité étant mis en contact avec la terre, l'électricité se répartit sur la terre et sur le corps, et l'on comprend qu'il n'en reste à peu près plus sur celui-ci. Il en résulte ces deux conséquences de la plus haute importance au point de vue pratique : si on veut conserver de l'électricité sur un corps, il faut bien se garder de le laisser en contact avec le sol, même par un seul de ses points ; inversement, si on a intérêt à faire disparaître l'électricité sur un corps, il suffit de mettre un de ses points en contact avec le sol par l'intermédiaire d'un bon conducteur (pour cela on touche ordinairement le corps avec un doigt, le corps humain étant bon conducteur) : c'est ce qu'on appelle *mettre à la terre* une substance électrisée.

Corps mauvais conducteurs ou isolants. — On appelle corps *mauvais conducteurs* ou *isolants* des corps au travers desquels la propagation de l'électricité ne s'opère pas, ou du moins s'opère avec une très grande lenteur.

Tels sont : le verre, la résine, la soie, le caoutchouc, la gutta-percha, la gomme laque et le vernis à la gomme laque, etc.

On se sert de ces substances pour séparer du sol des corps chargés d'électricité, d'où l'emploi du mot *isolant* comme synonyme de *mauvais conducteur*.

Cette notion si importante de *conductibilité* et de *résistance* sera développée plus tard.

Cela posé, nous pouvons arriver aux phénomènes analogues aux précédents qui se produisent dans un élément de pile.

Élément à circuit ouvert. Électrisation du zinc et de l'acide. — Considérons donc un élément de pile simple comprenant une large plaque de zinc plongée dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ainsi qu'une lame de cuivre : le tout dans un vase en verre. Prenons même du zinc pur ou amalgamé sur lequel l'acide sulfurique n'exerce pas d'action *apparente*.

On a alors un élément de pile dans lequel le zinc et le cuivre ne sont réunis par aucune communication *extérieure* à l'élément et qu'on nomme élément à *circuit ouvert*.

Quoiqu'on n'observe aucune action, aucun dégagement de gaz appréciable, il s'est produit aux surfaces du zinc et de l'acide cette action spéciale dont résulte ce que nous avons appelé *électrisation*.

Le zinc et l'acide sont électrisés, comme les tiges de verre ou de résine frottés dont nous avons parlé ci-dessus : de plus ils sont électrisés en sens contraire.

C'est ce qu'on peut mettre en évidence de plusieurs manières, et notamment de la façon suivante :

On prend un corps extrêmement léger et mobile, une lame *m* découpée dans une de ces feuilles d'or qui servent à dorer; on la suspend à une tige métallique terminée en boule A; une autre tige *t* est implantée en face de *m*

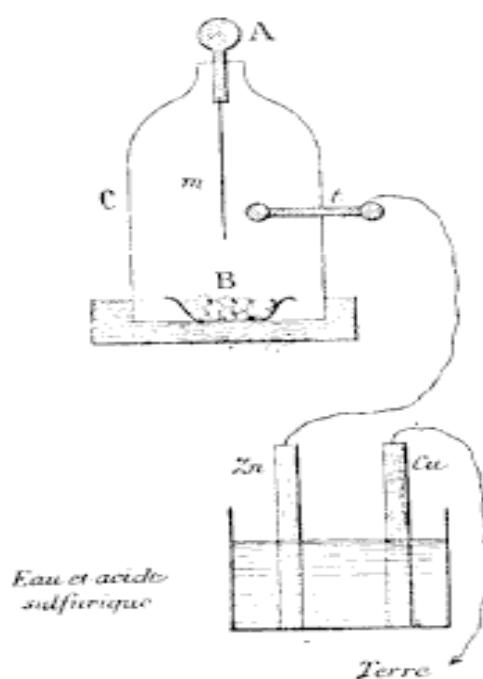


Fig. 25.

dans la paroi d'une cloche en verre *c* posée sur un socle en bois; l'air intérieur de la cloche est parfaitement desséché à l'aide de fragments de chaux vive B (fig. 25).

4° Si on attache un fil métallique fin au zinc et qu'on le mette en contact avec la tige *t*, la lame d'or *m* est attirée. En plongeant le fil dans le liquide au lieu de l'attacher au zinc, ou, ce qui revient au même, en l'attachant à une lame de cuivre ou de charbon plongée dans ce liquide, on obtient un résultat analogue.

On augmente beaucoup l'effet si, pendant que le métal attaqué est en communication avec *t*, le cuivre ou le charbon est mis en communication avec la terre, comme l'indique la figure, ou inversement.

Cet effet est extrêmement faible quand on ne prend qu'un seul élément; l'appareil indiqué ci-contre ne serait pas assez sensible pour le mettre en évidence; il faut avoir recours pour cela à des instruments beaucoup plus délicats et plus sensibles¹, dont la description ne saurait trouver place ici. Mais heureusement on peut parer à cette difficulté, en prenant, au lieu d'un seul, plusieurs éléments disposés de façon que le cuivre ou le charbon de chacun d'eux soit relié par un fil de cuivre au zinc

1. Par exemple l'électroscopie condensateur de Volta, ou l'électro-

du suivant (comme l'indique la figure 24 et comme on le fait ordinairement en télégraphie). Les effets *du genre de celui que nous étudions en ce moment* sont alors augmentés en proportion du nombre des éléments ainsi accouplés.

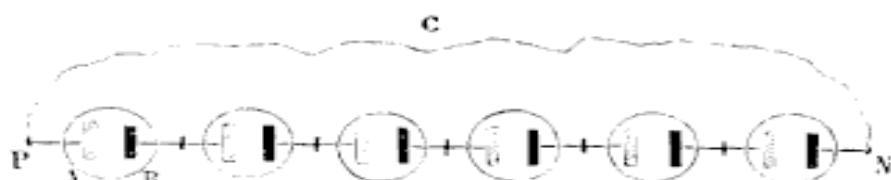


Fig. 24.

On voit en effet, en faisant les expériences, la déviation de la feuille d'or augmenter de plus en plus quand on emploie successivement 25, 50, 100... etc., éléments¹.

Prenons donc un nombre d'éléments suffisant pour avoir un effet très sensible; nous observerons alors nettement les autres effets suivants :

2^o En faisant communiquer le zinc ou le liquide (par l'intermédiaire du cuivre ou du charbon) avec la tige Λ au lieu de t , le mouvement de la lame m est le même que dans la 4^{re} expérience; elle se rapproche de t jusqu'à venir s'y appliquer (quand cela arrive, on n'a qu'à toucher t et Λ avec les mains et la lame retombe);

5^o En faisant communiquer le zinc avec l'une des tiges, et le liquide avec l'autre, le mouvement de la feuille d'or devient plus énergique : l'attraction entre t et m augmente ;

mètre de M. W. Thomson. On peut se contenter de l'électroscopie condensateur, qui est dans tous les cabinets de physique, et qu'on peut charger de façon à avoir une déviation très sensible, même avec un seul élément en bon état : avec 5 ou 4 éléments on a un effet considérable.

1. En se servant de 50 éléments Callaud ordinaires, tels qu'on les emploie en télégraphie bien isolés et en bon état, on obtient une attraction de 4 à 5 millimètres ; avec 25 éléments on a déjà une attraction sensible.

4^e Si on attache deux fils identiques et de même longueur, *b* et *b*₁ au zinc, par exemple, et si on met l'un d'eux en communication avec l'une des tiges A, la lame *m* vient s'appliquer contre l'autre *t*; mais si alors on met l'autre fil en communication avec *t*, la lame retombe immédiatement, comme si alors *t* et *m* se repoussaient (la figure 25 ci-contre se rapporte à cette expérience).

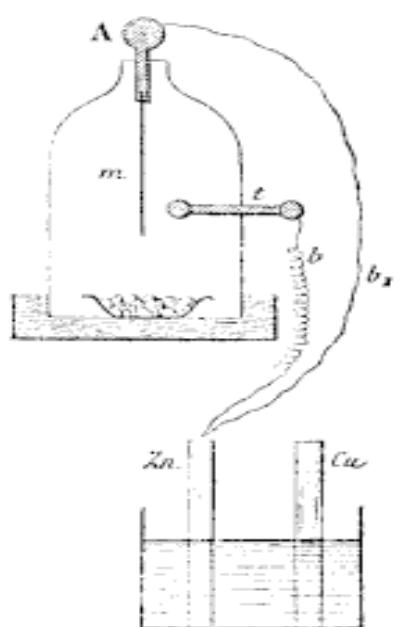


Fig. 25.

Il en est de même pour le cuivre.

Ces expériences peuvent s'exprimer, à l'aide du langage qui résulte de l'hypothèse des 2 fluides électriques, de la manière suivante.

I. Au contact du zinc et du liquide acide qui l'attaque il se produit une action spéciale (qu'on appelle habituellement *force électromotrice*), qui décompose une certaine quantité de fluide électrique neutre : le zinc se charge de fluide *négatif*; le

liquide de fluide *positif* qui se répand dans le liquide est recueilli par la substance inattaquée cuivre, charbon ou platine qu'on y plonge ordinairement et dont la présence n'a pas d'autre but.

La 1^{re} et la 2^e expérience ci-dessus prouvent que les fluides développés sur le zinc et l'acide attirent les corps légers; la 5^e, que les fluides de nom contraire du zinc et de l'acide s'attirent; la 4^e que les corps légers chargés du fluide négatif du zinc ou positif de l'acide sont repoussés par les corps chargés du même fluide.

II. La manière même dont sont faites les expériences prouve encore que les fluides développés au contact du zinc et de l'acide se *propagent* à travers les fils métalliques. D'ailleurs, en interposant entre le bout du fil qui aboutit au zinc ou au cuivre de l'élément de pile et la

tige *t* de l'appareil une tige de verre, de résine, ou de tout autre corps choisi parmi ceux qu'on a nommés plus haut *isolants*, on voit qu'il est impossible de répéter les expériences.

Les notions de *conductibilité*, de *résistance*, d'*isolement*, s'appliquent donc encore ici.

Mais il est nécessaire de préciser dès à présent d'autres notions tout aussi importantes, relatives aux propriétés de l'électricité développée par l'action de l'acide sulfurique sur le zinc ou par toute autre cause.

Cette électricité développée ainsi et répandue instantanément sur le zinc d'une part, sur l'acide de l'autre, y prend un état d'équilibre dans lequel les diverses portions des fluides développés se repoussent mutuellement. On dit alors que l'électricité y est à l'état *statique*, et les propriétés qu'elle manifeste dans cet état sont dites propriétés *électrostatiques*.

Si on met un corps conducteur isolé de forme quelconque en contact avec le zinc électrisé, par exemple, l'expérience prouve que ce corps se charge de la même espèce d'électricité que le zinc. Quand on veut se rendre compte du mécanisme par lequel se produit ce partage de l'électricité entre deux corps, il faut commencer par étudier de plus près cette qualité spéciale qui permet à une masse électrique d'agir à distance sur les corps électrisés par attraction ou répulsion suivant les cas.

Tension ou potentiel électrique. — On donne le nom de *tension* ou *potentiel électrique* à cette qualité de l'électricité.

Tous les effets électriques sont dus généralement aux influences combinées de la *quantité* ou *masse* ou *charge* électrique qui agit et de la *tension* qu'elle possède ; mais il en y a quelques-uns où l'influence de la tension est prédominante, et d'autres où domine au contraire l'influence de la masse ou quantité.

Distinction de la tension et de la quantité d'électricité.

tricité. — Il importe au plus haut degré de faire cette distinction et de la préciser autant que possible. C'est ce que nous allons faire, en procédant par comparaison.

Supposons qu'on veuille établir un moulin sur un cours d'eau. On fait un barrage qui élève le *niveau* de l'eau et produit une chute d'eau d'une certaine hauteur; on détourne un bras de la rivière; on fait tomber ainsi une certaine *quantité* d'eau sur la roue du moulin qui se met à tourner avec une certaine vitesse. Mais si, la *quantité* d'eau qui tombe *restant la même*, on élève ou on abaisse le barrage et par suite le *niveau* de l'eau, le mouvement de la roue s'accélère ou se ralentit; on peut donc distinguer ainsi l'influence du *niveau* de l'eau qui tombe de celle de sa *quantité*.

Quantité et niveau d'un liquide. — Un liquide quelconque contenu dans un vase V exerce sur les divers points des parois une force nommée *pression* qui tend à les faire éclater. La preuve, c'est que si on perce subitement une ouverture m en un point de la paroi, le liquide intérieur, au lieu de tomber verticalement comme tous les corps qui tombent spontanément, est lancé obliquement, formant un jet qui vient rencontrer en un certain point B le plan horizontal sur lequel repose le vase. On

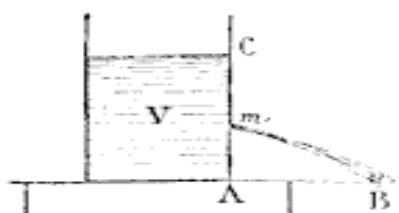


Fig. 26.

appelle amplitude du jet la distance AB du point B à la verticale mA qui passe par l'ouverture m; cette amplitude peut être considérée comme la mesure de la force ou pression qui produit le jet (fig. 26).

Il est facile de voir que la grandeur de la pression ou de l'amplitude du jet dépend principalement, non de la *quantité* de liquide contenue dans le vase, mais de son *niveau*, c'est-à-dire de la distance de la surface C du liquide au plan AB ou, si l'on veut, à l'ouverture m. En effet, si on prend un vase V₁ 2,5,10 fois plus petit que V, et contenant ainsi une

quantité de liquide beaucoup plus petite, pourvu que le *niveau* soit le même dans les 2 vases, pourvu que la hauteur $C_1 m_1$ soit égale à Cm , les amplitudes des jets seront les mêmes¹ (fig. 27).

Il y a donc lieu encore ici de distinguer le *niveau* d'un liquide de sa *quantité*.

Quantité de chaleur et température.—Tout le monde sait ce que c'est qu'un thermomètre, instrument qui sert à mesurer les variations de ce qu'on appelle la *température* par les variations correspondantes d'une colonne d'un liquide, mercure ou alcool, enfermé dans un tube de verre.

Prenons un thermomètre à mercure par exemple ; plongeons son réservoir dans l'eau d'un vase V chauffé à l'aide d'un fourneau F (fig. 28). L'eau s'échauffe, le thermomètre aussi ; le mercure s'élève, son niveau arrive peu à peu au point marqué 100 sur le thermomètre : on voit alors que l'eau du vase bout. A partir de ce moment, on peut continuer à chauffer indéfiniment cette eau, c'est-à-dire lui communiquer, à l'aide du fourneau qui brûle toujours, des *quantités* de chaleur de plus en plus grandes, la *température* de cette eau et par suite la hauteur du mercure dans le thermomètre resteront invariables.

Cette expérience montre nettement la distinction à faire entre la *température* d'un corps et la *quantité de chaleur* qu'on peut lui fournir.



Fig. 27.

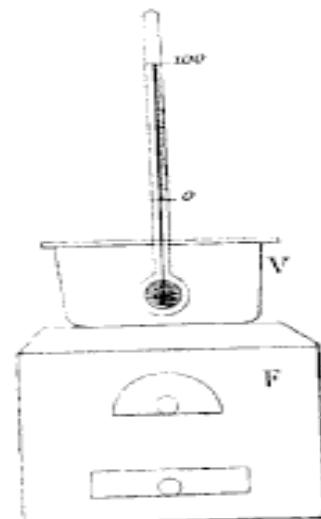


Fig. 28.

1. Cette expérience ainsi faite ne pourrait durer qu'un instant, parce que le niveau dans le petit vase V_1 baisserait très rapidement. Pour lui donner une durée aussi grande qu'on veut, il suffit que les vases aient la même hauteur et de les maintenir toujours pleins.

Il suffit encore de remarquer que la *quantité* immense de chaleur que le soleil verse sur toute la surface de la terre, et même sur un point de cette surface, ne peut parvenir à y éléver la *température* au delà de 60 degrés environ.

Les remarques précédentes qu'on pourrait multiplier s'appliquent à l'électricité. La *quantité d'électricité* est l'analogue de la *quantité d'un liquide* et de la *quantité de chaleur*. La *tension ou potentiel électrique* est l'analogue du *niveau ou hauteur de niveau d'un liquide* et de la *température*.

Une tension électrique *positive* correspond à une température *au-dessus du zéro* du thermomètre, ou à la hauteur de niveau d'un liquide *au-dessus* d'un certain plan horizontal. Une tension *négative* correspond à une température *au-dessous du zéro* du thermomètre, ou à la hauteur d'un liquide *au-dessous* d'un plan.

Différence de tension ou de potentiel sur le zinc et l'acide d'un élément de pile. — Conformément à ces idées, on doit considérer qu'il y a sur le zinc et l'acide ou le cuivre d'un élément de pile une *différence de tension*, correspondant à une *différence de température* entre deux corps chauffés, ou à une *différence de niveau* d'un liquide dans des vases différents.

Tension de la terre. — Et de même qu'il y a un point conventionnel, auquel on rapporte les températures, qui correspond à la température de la glace fondante et est marqué zéro sur le thermomètre; de même qu'on rapporte les différences de niveau des corps sur la surface de la terre à un niveau conventionnel qui est le niveau de la mer; de même, il y a une tension qu'on est convenu de prendre pour terme de comparaison, savoir la tension électrique du sol; de telle sorte qu'une tension positive est une tension supérieure à celle de la terre et une tension négative est une tension inférieure à celle du sol.

Une troisième notion souvent prédominante dans les phé-

nomènes électriques¹ peut se définir assez clairement à l'aide de comparaisons analogues.

Capacité calorifique d'un corps. — Prenons un certain poids P d'un corps : chauffons-le avec une source de chaleur constante qui lui fournira des quantités de chaleur croissantes. La température du corps variera : déterminons (on le peut exactement) la quantité de chaleur nécessaire pour faire varier sa température d'une unité de température, de un degré centigrade. Faisons la même opération sur le même poids P de corps différents : nous trouverons chaque fois une quantité de chaleur différente pour obtenir une variation de température de un degré. Cette quantité de chaleur peut donc être regardée comme une propriété caractéristique de chaque corps matériel ; on la nomme *capacité d'un corps pour la chaleur, ou capacité calorifique d'un corps*¹.

Capacité d'un vase pour un liquide. — D'autre part, considérons un vase que nous supposons cylindrique. Ce qu'on appelle ordinairement *capacité* de ce vase pour un liquide, c'est la quantité qu'il peut en contenir *quand il est plein*. Mais nous pouvons donner à ce mot une signification analogue à la précédente. Si ab est la différence de niveau entre la surface d'un liquide dans le vase et le niveau de la mer (fig. 29), on peut considérer la quantité de liquide qu'il est nécessaire de verser dans le vase pour faire varier le niveau de la surface d'une unité $b\ c$ (un mètre ou un centimètre si l'on veut), et appeler cette quantité *capacité* du vase pour le liquide.

Comme pour la chaleur avec la nature des corps cette



Fig. 29.

1. Si on considère la quantité de chaleur nécessaire pour faire varier de un degré la température de 1 kilogramme d'un corps, on la nomme *capacité calorifique spécifique*, ou simplement *chaleur spécifique*.

capacité variera évidemment ici avec la grandeur des vases.

Capacité électrique. — Or, de même qu'on a choisi une unité de température ou plutôt de différence de température qui est le degré centigrade, et une unité de différence de niveau qui est l'unité de longueur, de même on a choisi une unité de différence de tension ou de potentiel électrique¹. Sans nous préoccuper en ce moment de ce qu'elle est, ni de la façon dont on est arrivé à l'établir, nous pouvons en admettre l'existence, et appeler capacité d'un corps pour l'électricité ou *capacité électrique* d'un corps la quantité d'électricité nécessaire pour faire varier sa tension d'une unité.

Quantité d'électricité et tension dans un élément de pile. — Les définitions précédentes établies, trois questions se posent immédiatement : 1^o Comment peut-on mesurer exactement la quantité d'électricité développée sur le zinc ou le cuivre d'un élément de pile ou plutôt communiquée par lui à un conducteur? car il est évident que la quantité d'électricité sur le zinc même d'un élément est en quelque sorte indéfinie, parce que l'action continue de l'acide sur lui la renouvelle à mesure qu'on l'enlève. 2^o Comment se répartit cette quantité dans le zinc ou dans le conducteur suivant leur volume, leur surface, leur nature? 3^o Comment peut-on mesurer également la tension ou potentiel?

En ce qui concerne l'électricité à l'état *statique*, les deux premières questions ont été résolues expérimentalement par *Coulomb* à la fin du siècle dernier, et mathématiquement par *Poisson*. Nous n'avons pas à exposer dans ce cours les méthodes qui servent à mesurer les masses ou quantités d'électricité, à étudier leur distribution sur les conducteurs, leur influence réciproque quand

1. On verra plus loin que c'est à très peu près la différence de tension sur le zinc et le cuivre d'un élément *Daniell*.

on les met en présence, toutes choses qu'on trouve ordinairement dans les chapitres des traités de physique qui sont consacrés à l'électricité statique.

Quant à la seconde question relative à la mesure de la tension ou du potentiel de l'électricité statique, elle n'a été résolue que récemment après de nombreux travaux de mathématiciens et de physiciens éminents, tels que : Laplace, Green, Gauss, Chasles, Kohlrausch, Weber, W. Thomson. Nous ne pouvons nous en occuper ici.

Après avoir ainsi constaté nettement les effets de la tension ou du potentiel des diverses parties d'un élément de pile, indépendamment des effets dûs à la quantité d'électricité, nous pouvons étudier ce qui se passe quand on fait varier la nature de l'élément.

On peut, dans cet élément, faire varier : soit la nature de l'action chimique en changeant le métal attaqué et l'acide, soit simplement les dimensions du métal attaqué.

Dans le premier cas, en général, la quantité d'électricité qui se répand à la surface du métal attaqué change, ainsi que son potentiel. Comme en télégraphie jusqu'à présent les diverses espèces d'éléments usités ne diffèrent pas quant à la nature du métal attaqué qui est toujours une tige ou un cylindre de zinc, nous laisserons tout à fait de côté l'étude de ce cas.

Dans le second cas, il est évident que la quantité d'électricité produite augmente ou diminue suivant que le nombre de points attaqués par l'acide, c'est-à-dire la surface du zinc en contact avec l'acide, augmente ou diminue. Mais que devient la tension dans ce cas ?

On peut faire deux expériences comparatives avec un grand vase rempli d'eau acidulée dans lequel on place successivement une petite lame de zinc, Z , et un cylindre de zinc Z_1 d'une surface vingt ou trente fois plus grande (fig. 50). On constate que la tension est absolument la même dans les deux cas, bien que dans le second la qua-

tité d'électricité produite soit vingt ou trente fois plus considérable.

C'est ainsi qu'en versant dans un vase cylindrique cinq fois plus grand qu'un autre *de même forme*, une quantité de liquide cinq fois plus grande, le niveau du liquide dans les deux vases reste le même.

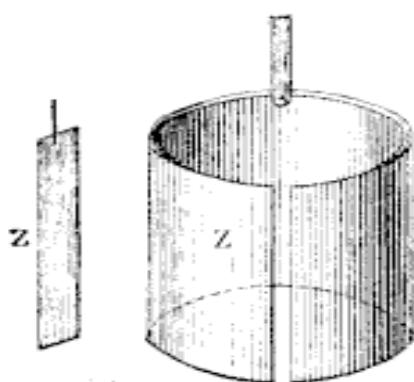


Fig. 50.

C'est encore ainsi qu'un centimètre cube d'eau bouillante élève la température d'un thermomètre à cent degrés, et qu'une tonne d'eau bouillante ne produirait pas

sur le même instrument la moindre différence d'effet.

Quantité d'électricité et tension dans un groupe d'éléments. — Examinons maintenant ce qui se passe lorsqu'on réunit ensemble plusieurs éléments de pile identiques.

On peut imaginer les groupements divers ; mais on peut les ramener aux deux suivants :

Accouplement des éléments en tension. — 1^o On peut juxtaposer les éléments de façon à faire communiquer l'acide ou le cuivre de l'un avec le zinc du suivant, ainsi que l'indique la figure 51.

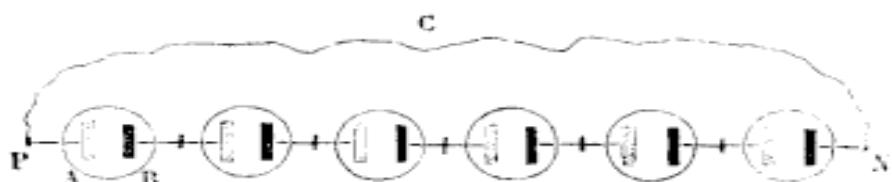


Fig. 51.

On voit alors avec les instruments de mesure convenables que la tension croît proportionnellement *au nombre* des éléments ainsi accouplés ; elle devient cinq, dix, vingt... fois plus grande ou plus petite si le nombre des éléments devient ce même nombre de fois plus grand ou

plus petit. C'est ce que nous avons déjà fait voir plus haut (voir pages 62 et 64), avec un instrument très simple : du moins nous avons montré que l'attraction produite sur la lame d'or grandissait avec le nombre des éléments, sans déterminer (ce que l'instrument ne pourrait donner) la loi exacte de cette augmentation.

C'est pour ce motif qu'on appelle ce genre de groupement des éléments de pile : *accouplement en tension*, ce qui veut dire : accouplement disposé de façon à faire varier principalement la tension. On dit aussi : *accouplement en série*.

Accouplement en surface ou en quantité. — 2° On peut juxtaposer les éléments, en réunissant tous les zincs ensemble et tous les cuivres ensemble (fig. 52).

Il est évident que c'est comme si on n'avait qu'un seul élément dont la surface du zinc fut agrandie (dix fois plus grande s'il y a dix éléments ainsi groupés). En ce cas, la quantité d'électricité seule est augmentée ; la tension est la même que celle d'un élément, d'après ce que nous avons vu plus haut.

C'est pour cela qu'on appelle ce genre de groupement *accouplement en surface ou en quantité*.

Pile. Pôles positif et négatif. — On appelle *pile électrique* un ensemble d'éléments identiques accouplés de n'importe quelle manière. Le groupement usité en télégraphie est l'accouplement en tension.

On nomme *pôles* les extrémités d'un élément ou d'une pile : *pôle négatif* l'extrémité zinc ; *pôle positif* l'extrémité

MERCADIER.

5

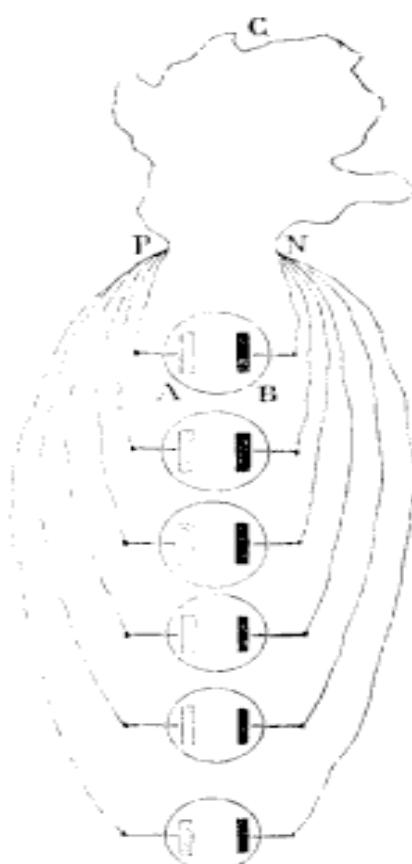


Fig. 52.

cuivre, charbon ou platine, suivant que c'est l'une ou l'autre de ces substances qui est plongée dans l'acide pour en recueillir l'électricité. On les désigne : le positif par le signe + et le négatif par le signe —.

Jusqu'ici tout ce que nous avons dit se rapporte à un seul des effets dits *électrostatiques* d'un élément de pile, savoir le phénomène des attractions ou répulsions à distance.

Étincelles électriques. — Un second effet, rangé ordinairement dans la même classe, peut être produit par les piles comme il l'est par les conducteurs chargés d'électricité par frottement, compression... etc. C'est le phénomène des étincelles électriques.

Tout le monde sait qu'un conducteur chargé d'électricité à l'aide d'une machine électrique à frottement étant mis à une certaine distance d'un autre conducteur communiquant avec le sol, une brillante étincelle part du premier au second. Sans avoir recours à des machines, il suffit de frotter dans une atmosphère bien sèche un bâton de verre ou de résine également bien secs, comme nous l'avons indiqué précédemment pour entendre un léger crissement dû à la production d'un grand nombre de petites étincelles, qu'on peut même voir dans l'obscurité.

En se plaçant dans des conditions convenables qui seront indiquées plus loin, on peut produire le même effet avec une pile. Mais nous ne l'étudierons pas en ce moment. Il faut remarquer en effet que, quelle que soit la cause de ce phénomène, il résulte évidemment d'un *mouvement* d'électricité d'un conducteur à un autre, mouvement dans lequel il y a même un transport à travers l'air de molécules des conducteurs.

Pour ce motif, il nous paraît préférable de rattacher le phénomène des étincelles électriques à ceux que présente l'électricité en *mouvement*, c'est-à-dire à la classe de phénomènes appelés *électro-dynamiques*, et que nous allons maintenant étudier.

EFFETS ÉLECTRO-DYNAMIQUES DES PILES

Élément de pile formant un circuit fermé. — On dit qu'un élément de pile forme un circuit fermé lorsque ses deux pôles sont réunis extérieurement par un corps bon conducteur, un fil ou une lame métallique par exemple.

Que va-t-il se passer alors dans l'élément?

Raisonnons d'abord par analogie.

Toutes les fois qu'on voit un mouvement ou courant d'eau à la surface du sol, on s'aperçoit qu'il existe une différence de niveau entre le point de départ du cours d'eau et son point d'arrivée : quelle que soit d'ailleurs la quantité d'eau en mouvement, qu'il s'agisse d'un filet d'eau, d'une rivière, d'un fleuve, c'est la différence de niveau entre la source et l'embouchure qui détermine le mouvement.

Réciproquement, si on a deux vases V, V_1 contenant des quantités d'eau quelconques, si on veut produire un courant de liquide d'un vase dans un autre, il suffit d'établir entre eux une *différence de niveau* AB, et un canal de communication MN (fig. 55). Aussitôt le liquide coule de V vers V_1 , le niveau A s'abaisse ; le niveau B s'élève, et le mouvement continue jusqu'à ce que le liquide ait atteint dans les deux vases un niveau C qui dépend de la capacité relative des deux vases, et qui est le niveau *moyen* s'ils ont même capacité. A partir de ce moment, tout mouvement s'arrête, l'équilibre est établi dans les deux vases. La cause du mouvement est bien la *différence de niveau* et non le rapport des quantités de liquide ou des capacités des vases. S'il n'en était pas ainsi, en prenant un vase V_1 très étroit il y aurait dans ce vase débordement du liquide, tandis que, en réalité, dès que le niveau convenable est atteint dans ce vase, le mouvement s'arrête,

quelque petite que soit la quantité de liquide passée de V en V_t .

Remarquons immédiatement que pareille chose se pro-

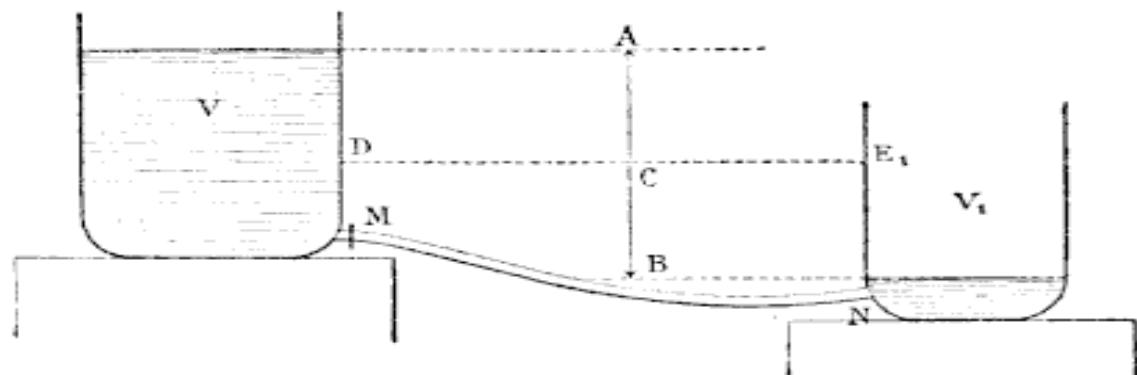


Fig. 35.

duit quand on met en communication un conducteur chargé d'électricité à un certain potentiel avec un autre conducteur à un potentiel différent : une certaine quantité d'électricité passe de l'un à l'autre jusqu'à ce qu'un potentiel intermédiaire soit obtenu sur les deux, potentiel qui dépend de la capacité électrique relative des deux vases.

Nous voyons donc maintenant que la cause immédiate qui fait passer l'électricité d'un conducteur à un autre c'est la différence de leurs tensions ou potentiels : il en résulte un mouvement électrique qui ne s'arrête que lorsque le potentiel est devenu le même sur les deux conducteurs. Alors les masses électriques qui les couvrent sont en équilibre.

Mais ne peut-il pas arriver que ce mouvement électrique ne s'arrête pas ? En nous reportant à notre genre de comparaison ordinaire, nous voyons dans la nature des cas innombrables de courants d'eau *continus*. Les rivières, les fleuves dont la source ne tarit pas, coulent toujours en vertu de la même différence de niveau entre la source et l'embouchure. En réfléchissant à ce fait, on songe que la source d'un fleuve, par exemple, est ali-

mentée par les pluies, les neiges qui résultent de la condensation de la vapeur d'eau : cette vapeur provient des nuages ; ceux-ci proviennent eux-mêmes de l'évaporation des eaux à la surface du sol, et à la surface de la mer dans laquelle le fleuve se jette ; de telle sorte qu'on est en droit de considérer une sorte de cycle formé par la source du fleuve, ses eaux, la vapeur d'eau, les nuages atmosphériques et qui nous ramène ainsi au point de départ.

Courant électrique. — Or nous avons vu plus haut que l'analogie d'une différence de niveau dans un liquide était, en électricité, une *différence de tension*. Entre le zinc d'un élément de pile et l'acide ou le cuivre il existe précisément une différence de tension, le fluide négatif du zinc possédant une tension négative (—) c'est-à-dire inférieure à la tension de la terre, et le fluide positif du cuivre possédant une tension positive (+), c'est-à-dire supérieure à celle du sol. Dès lors, nous sommes fondés à croire que si on réunit le zinc et le cuivre par un corps bon conducteur (fig. 54), il va se produire dans ce circuit, ainsi *fermé*, composé du zinc, de l'acide, du cuivre, et du fil conducteur, un mouvement électrique que nous pouvons appeler *courant* (comme on le fait d'habitude) par analogie avec ce qui se passe dans un liquide en mouvement.

Courant intérieur. — Cette conclusion est pleinement confirmée par l'expérience.

1^o Si on examine ce qui se passe à l'intérieur d'un élément, on voit se produire un dégagement de gaz *sur le cuivre* ; si on soude la lame de cuivre à un fil de cuivre recouvert de gutta-percha de façon à pouvoir en intro-

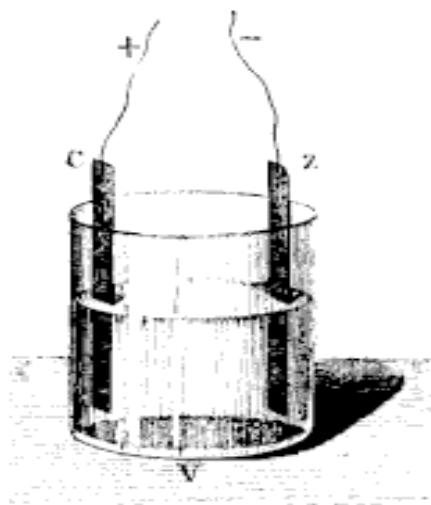


Fig. 54.

duire la partie supérieure dans une cloche en verre *C*, remplie d'eau, on peut recueillir dans cette cloche le gaz qui se dégage dès qu'on établit la communication *MFN* (fig. 55). On reconnaît que c'est de l'hydrogène. Or l'hydrogène ne peut résulter que de l'action de l'acide sulfurique sur la surface du zinc : il faut donc que, par un mécanisme particulier, il y ait transport, *courant*, à l'intérieur du liquide, du zinc au cuivre.

Il faut remarquer avec soin ce dégagement de l'hydrogène sur le cuivre, ou plus généralement sur le pôle positif d'un élément de pile, pôle qui se trouve ainsi environné comme d'une gaine gazeuse qui tend à le séparer plus ou moins complètement du liquide environnant.

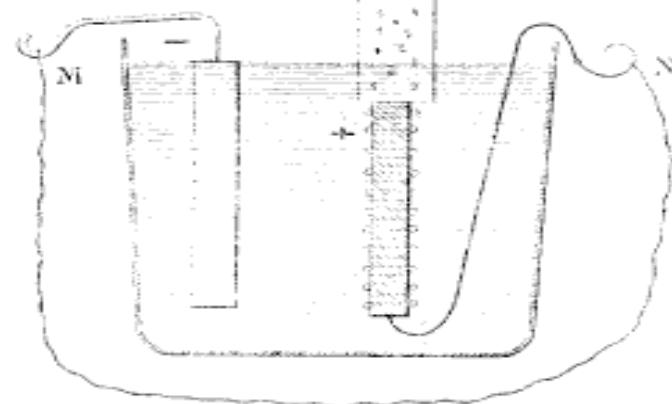


Fig. 55.

Ceci nous permet de comprendre maintenant pourquoi, lorsqu'on plonge dans l'acide sulfurique du zinc ordinaire non purifié ou non amalgamé,

il se produit un dégagement continu d'hydrogène sur le zinc. C'est que le zinc impur contient une grande quantité de petites particules d'autres substances disséminées comme de petits points *a*, *b*, *c*..., sur toute sa surface (fig. 56); quand cette surface est plongée dans l'acide sulfurique, il se produit

entre chacun de ces points et le zinc voisin de petits

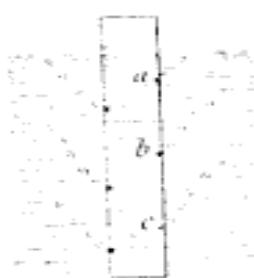


Fig. 56.

éléments de pile à circuit évidemment fermé, et l'hydrogène se dégage à la surface de tous ces points dont le nombre est très considérable. Il est clair d'ailleurs que ces petits courants intérieurs partiels nuisent beaucoup au courant intérieur général d'un élément, sans compter qu'ils déterminent une usure de zinc tout à fait en pure perte. Dans le cas où un élément est ainsi formé de zinc impur, on voit le dégagement d'hydrogène s'effectuer à la fois sur le zinc et sur le cuivre.

Courant extérieur. — 2^e Le courant intérieur de l'élément est donc ainsi en quelque sorte *visible*.

Y a-t-il également un courant extérieur dans le conducteur qui réunit les deux pôles? Quoiqu'on n'aperçoive aucune modification apparente sur ce conducteur, il est cependant le siège d'un mouvement électrique qui se manifeste par les effets les plus variés et dont l'utilisation à l'aide d'appareils convenables a permis précisément de constituer la télégraphie.

Avant d'examiner ces effets, indiquons quelques définitions abréviatives.

Courant électrique. — Nous avons vu qu'on doit appeler *courant électrique* le mouvement électrique produit à l'intérieur et à l'extérieur d'un élément *par suite de la différence de tension* des deux pôles, quand on les réunit par un ou deux fils conducteurs.

Sens du courant. — Nous admettrons que ce courant a le sens indiqué par le transport d'hydrogène, et nous dirons que le courant va du pôle négatif au pôle positif à l'intérieur de l'élément ou de la pile, et du pôle positif au pôle négatif à l'extérieur dans le fil ou les fils conducteurs qui les réunissent (fig. 57).



Fig. 57.

Rhéophores. — On appelle ces fils conducteurs (il y en a généralement deux) *rhéophores*, en ajoutant les mots *positif* ou *négatif*, suivant qu'ils sont fixés aux pôles *positif* ou *négatif*.

EFFETS QUI DÉMONTRENT L'EXISTENCE DU COURANT
EXTÉRIEUR À LA PILE.

I. Décomposition de l'eau acidulée. — Le courant extérieur à la pile décompose l'eau acidulée¹.

Voltamètre. — Pour faire l'expérience on dispose deux fils de platine A et B dans le fond d'un verre comme l'indique la figure 58; on les surmonte de deux petites cloches

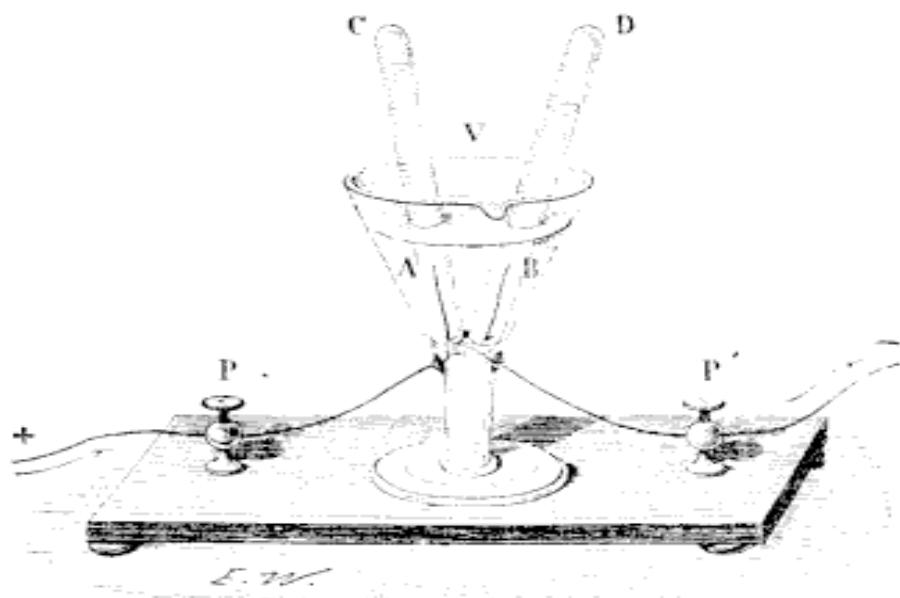


Fig. 58.

en verre graduées C, D, remplies d'eau; on met de l'eau acidulée dans le vase, et on fait communiquer les fils l'un avec le pôle positif d'une pile, l'autre avec le pôle négatif. On a ainsi ce qu'on appelle un *voltamètre*.

1. On dit ordinairement que l'acide ajouté ne sert qu'à rendre l'eau plus conductrice du courant; mais, en réalité, le phénomène est plus complexe.

On voit alors un dégagement de gaz s'opérer dans les deux cloches; le gaz qui se dégage le long du fil positif A est de l'oxygène; l'autre est de l'hydrogène qui occupe un volume deux fois plus grand, comme cela doit être d'après la composition de l'eau (page 56).

Électrodes. — On appelle *électrodes* positive ou négative les fils ou plaques tels que A et B, reliés aux pôles positif ou négatif de la pile: on donne aussi ce nom aux pôles mêmes de la pile.

Au lieu de disposer les fils de platine comme dans la figure (58) on pourrait les disposer comme dans la figure (59) en les suspendant à une garniture métallique soudée à la partie supérieure des cloches. Le résultat serait évidemment le même. Nous verrons tout à l'heure une application de cette disposition.

Hypothèse de Grotthus. — Il est à remarquer que le dégagement des gaz ne se produit que sur les fils de platine; le liquide intermédiaire n'en présente pas la moindre trace. Ce fait est très curieux; on s'en rend compte de la manière suivante:

Figurons les fils A et B, et soient H_1O_1 , H_2O_2 , H_3O_3 , H_4O_4 ,

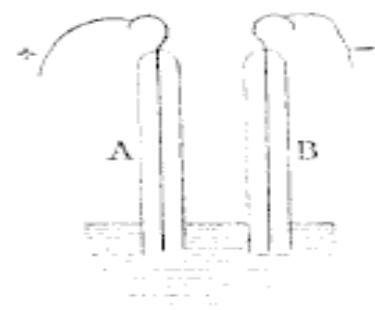


Fig. 59.

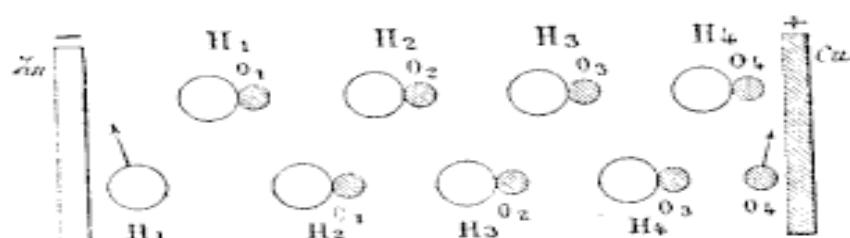


Fig. 40.

4 particules d'eau, les H représentent l'hydrogène et les O l'oxygène de chacune d'elles (fig. 40). Le premier effet du courant est *d'orienter* les particules de façon que dans

chacune d'elles l'hydrogène se tourne vers le pôle ou le fil négatif, c'est-à-dire marche dans le sens attribué au courant extérieur, et l'oxygène vers le fil positif. Le second effet est de décomposer chaque particule d'eau : l'hydrogène H_1 mis en liberté se dégage ; l'oxygène O_1 marchant vers le fil positif se combine à l'hydrogène H_2 de la première particule qu'il rencontre, et reconstitue ainsi une particule d'eau H_2O_1 ; l'oxygène O_2 mis en liberté se combine à son tour avec H_3 , et ainsi de suite jusqu'à ce que la dernière particule d'oxygène O_4 devenue libre se dégage au pôle ou au fil positif. On explique bien ainsi qu'il n'y ait pas de dégagement de gaz entre les deux fils.

Cette explication a été imaginée par Grotthus.

On voit, du reste, que l'hydrogène marche sous l'action du courant extérieur comme sous l'action du courant intérieur, c'est-à-dire *dans le sens même* que nous avons attribué au courant.

II. Décomposition des sels métalliques. — Si au lieu d'eau on met dans un voltamètre un sel métallique, c'est-à-dire un corps composé d'un acide et d'une base, le métal se rend, comme l'hydrogène à l'électrode négative : l'acide et l'oxygène de la base à l'électrode positive, comme l'oxygène de l'eau.

On fait habituellement l'expérience dans des tubes en verre recourbés en forme d' U dans lesquels on verse la dissolution du sel (fig. 41) ; on plonge un fil de platine dans chaque branche, et on met ces fils en communication avec les pôles d'une pile. Le fil négatif se recouvre d'un dépôt de métal du sel, par exemple cuivre du sulfate de cuivre, zinc du sulfate de zinc : l'acide SO_4^2- se combine à l'eau de la dissolution autour du fil positif, et le long de ce fil se produit un dégagement d'oxygène. La décomposition peut s'exprimer ainsi : $SO_4^2-Cu = Cu + SO_4^2 + O$.

La présence de l'acide à l'électrode positive se démontre aisément, en versant un peu de teinture de tournesol

dans la branche du tube correspondante : la teinture rougit immédiatement.

Lorsque le métal du sel décompose l'eau à la température ordinaire, comme le potassium, le sodium...etc., la décomposition du sel donne lieu à une expérience intéressante.

Prenons par exemple du sulfate d'oxyde de sodium ou sulfate de sodium, mêlons-le à de la teinture violette de mauves, et versons le mélange dans le tube en *U*. À l'électrode positive on verra un dégagement d'oxygène et l'acide sulfurique formé rougira la teinture de mauves autour du point *A*. À l'électrode négative, le sodium décomposera l'eau au fur et à mesure de sa production, se combinant à l'oxygène pour former une base énergique, l'oxyde de sodium ou *soude*, qui verdira la teinture autour du point *B*; en même temps l'hydrogène de l'eau décomposée se dégagera. Quant au reste de la teinture, elle conservera sa couleur, témoignant ainsi que, semblablement à ce qui a lieu pour l'eau, l'action décomposante du courant *ne se manifeste qu'aux environs des électrodes* reliés aux pôles de la pile. On s'en rend compte de la même manière que pour l'eau : il suffit de remplacer dans la figure 42 qui s'y rapporte l'hydrogène *H* par le métal du sel, le cuivre, *Cu*, par exemple, du sulfate de cuivre, et l'oxygène *O* par le

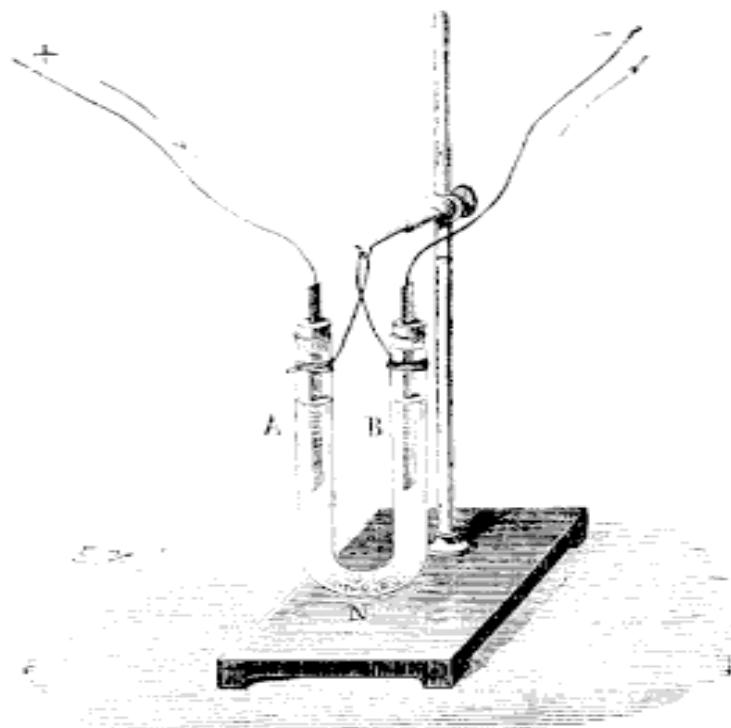


Fig. 41.

groupe SO_4^4 qui, joint à Cu, compose le sulfate de cuivre SO_4^4Cu (page 46). L'explication est la même; il suffit d'ajouter que le groupe SO_4^4 mis en liberté au pôle positif se dédouble en oxygène, O, qui se dégage, et en SO_3^5 qui forme avec l'eau de la dissolution de l'acide hydraté $\text{SO}_3^5\text{H}_2\text{O}$ ou SO_3^5H (page 44). Remarquons que le métal (comme l'hydrogène dans le voltamètre) marche *dans le sens même du courant*.

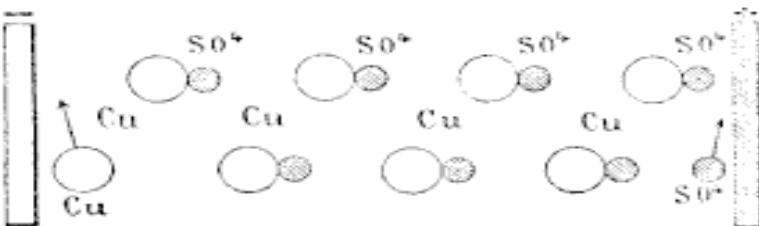


Fig. 42.

On rend cet effet plus énergique en plaçant l'aiguille au centre d'un cadre sur lequel on enroule le fil conducteur, isolé par une couche de soie, plusieurs fois sur lui-même.

III. Action sur une aiguille aimantée. — Si on prend une aiguille aimantée (par l'un des procédés que nous indiquerons prochainement); si on la place sur un pivot vertical ou horizontal, ou si on la suspend à un fil de soie, en disposant au-dessus de cette aiguille *ab* une portion XY du conducteur extérieur d'une pile, dès que le courant passe, l'aiguille est déviée d'un certain angle et dans un certain sens qui dépend du sens du courant (fig. 43).

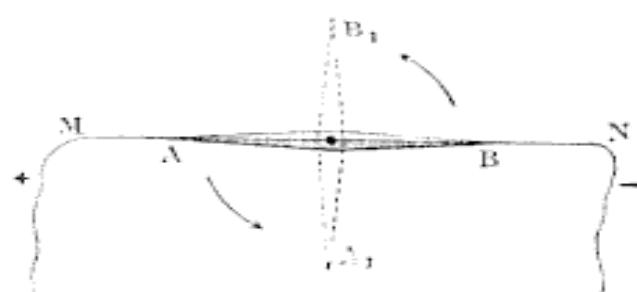


Fig. 43.

Nous verrons prochainement la théorie de l'instrument ainsi constitué, qu'on nomme *boussole* ou *galvanomètre*: pour le moment nous constatons simplement cette action spéciale du courant et nous notons que *le sens de la déviation change avec le sens du courant*.

IV. Effets calorifiques et lumineux. — Si on met les

pôles d'une pile suffisamment énergique en communication avec fil métallique très résistant, un fil très fin de platine ou de fer par exemple, on voit le fil s'échauffer au point de devenir lumineux, et même fondre si la pile est assez forte. Avec 5 ou 6 éléments Bunsen on peut ainsi échauffer jusqu'au rouge blanc une longueur de quelques centimètres de fil fin de platine.

Les effets variés que nous venons de constater mettent hors de doute l'existence d'un mouvement ou courant électrique extérieur à la pile : c'est un point qu'il était nécessaire de bien établir.

On conçoit du reste que l'énergie de ces actions exercées par le courant dans le circuit extérieur puisse donner une mesure de l'énergie du courant lui-même. D'ailleurs, celle-ci peut être évidemment représentée par la quantité d'électricité qui passe à travers une section du conducteur dans un intervalle de temps déterminé, choisi une fois pour toutes comme unité de temps, une seconde, ou une minute par exemple.

Intensité d'un courant. — On appelle en effet énergie ou plutôt *intensité* d'un courant, la quantité d'électricité qui traverse une section du conducteur pendant l'unité de temps.

Nous verrons bientôt les lois suivant lesquelles varie cette intensité. En attendant, on peut constater ces variations (sans les mesurer avec précision) par la quantité de gaz dégagé dans un voltamètre, ou par la quantité du métal déposé au pôle négatif dans la décomposition d'un sel, ou enfin par la grandeur de la déviation d'un galvanomètre déterminé.

Affaiblissement du courant de la pile à un seul liquide. — La pile dont nous avons parlé et dont nous nous sommes servis jusqu'ici est une pile à un seul liquide.

C'est Volta qui l'avait imaginée vers l'année 1800, et lui avait donné ce nom de *pile*, parce qu'il la forma

d'abord en empilant les unes au-dessus des autres des rondelles de zinc et de cuivre soudées, et séparées les unes des autres par des rondelles de drap imbibées d'eau acidulée. Cette pile, modifiée après Volta, perfectionnée par Wollaston, fournit un courant dont l'énergie s'affaiblit graduellement assez vite.

Les causes d'affaiblissement sont :

1^o L'impureté du zinc.

Nous avons vu en effet plus haut qu'il en résultait la production d'une infinité de petits courants partiels qui affaiblissent d'autant le courant principal, et de plus une usure du zinc en pure perte.

2^o La consommation graduelle de l'acide, transformé en sulfate de zinc.

3^o La décomposition dans chaque élément de ce sulfate de zinc par l'action du courant lui-même.

Il en résulte (comme dans la décomposition des sels par le courant extérieur) que le métal du sulfate, le zinc est entraîné dans le sens du courant ; il se dépose donc sur le cuivre de l'élément, tandis que l'acide sulfurique et l'oxygène vont au pôle négatif. Le cuivre se recouvre donc de zinc qui, attaqué par l'acide de l'élément, produit un nouveau courant en sens inverse du courant principal⁴.

4^o Enfin le dégagement d'hydrogène autour du cuivre, ou plus généralement, autour du pôle positif.

Ce pôle se trouve ainsi environné d'une gaine de

4. Lorsqu'une électrode d'un élément de pile est recouverte d'hydrogène, d'oxygène ou du métal qui proviennent de la décomposition des substances qui forment l'élément ou de celles qui s'étaient d'abord produites sous l'action du courant, on a l'habitude d'exprimer ce fait en disant que l'électrode est *polarisée*, et on appelle courant de *polarisation* le courant inverse produit par le dépôt de ces substances. Le fait lui-même est appelé *polarisation des électrodes*. Il ne faut attacher à ce mot *polarisation* (d'un fort mauvais emploi du reste ici) d'autre valeur que celle d'exprimer en abrégé tout ce que nous venons de dire.

gaz qui est nuisible pour deux motifs. D'abord les gaz sont mauvais conducteurs de l'électricité : la couche d'hydrogène oppose donc au passage du courant une grande résistance. En second lieu, l'hydrogène tend à se recombiner avec l'oxygène provenant de la décomposition du sulfate de zinc et de l'eau des éléments et cette recombinaison produit un courant inverse du courant principal.

En effet, prenons un voltamètre disposé comme dans la figure 59 ci-dessus ; mettons les extrémités des fils

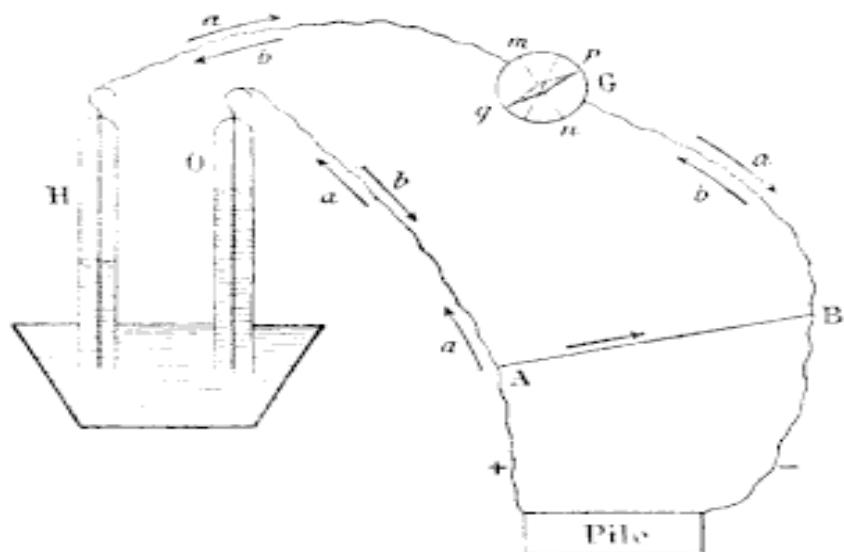


Fig. 44.

de platine en communication avec les pôles d'une pile après avoir introduit un galvanomètre *G* dans le circuit (fig. 44). Sous l'action du courant dont le sens est marqué par les flèches *a*, les cloches en verre se rempliront l'une d'oxygène, l'autre d'hydrogène, et le galvanomètre éprouvera une déviation dans un certain sens, de façon que l'aiguille vienne par exemple en *mn*. Si alors on rompt la communication du voltamètre avec la pile et si on réunit les fils conducteurs par un autre fil métallique *AB*, on voit immédiatement l'aiguille du galvanomètre dévier en sens contraire et venir par exemple en

pq, attestant ainsi la production d'un courant, inverse du précédent, indiqué par les flèches *b*. Ce courant est bien produit du reste par la combinaison de l'hydrogène et de l'oxygène du voltamètre, car ces deux gaz disparaissent peu à peu et le courant dure jusqu'à ce qu'ils aient complètement disparu¹.

On peut éviter la première de ces causes d'affaiblissement en amalgamant le zinc ; la seconde en ajoutant de temps en temps dans chaque élément un peu d'acide ; la troisième en enlevant peu à peu l'eau qui contient le sulfate de zinc en dissolution. Quant à la quatrième, qui est la plus importante, on a dû, pour l'éviter, ajouter aux éléments de pile une seconde substance, ordinairement liquide, dont la décomposition par le courant est susceptible de transformer l'hydrogène, si nuisible, en eau qui ne l'est pas du tout.

Telle est l'origine des piles à deux liquides².

Piles à deux liquides. — La première pile de ce genre a été imaginée par Daniell. Elle est disposée comme l'indique la figure 45 ci-contre. Dans un vase en verre rempli d'eau acidulée plonge un cylindre de zinc. La lame de cuivre, munie d'un godet *G* percé de trous rempli de cristaux de sulfate de cuivre, plonge dans un vase poreux en terre de pipe rempli d'une dissolution du même sulfate ; elle est d'ailleurs soudée à un cylindre de zinc qui fait partie de l'élément suivant.

D'après ce qui précède, le rôle du sulfate est facile à

1. **Pile à gaz.** — Cette expérience remarquable prouve qu'un voltamètre rempli de gaz est un véritable élément de pile, dont les fils de platine sont les pôles. De plus, on peut accoupler des voltamètres comme nous l'avons vu pour des éléments de pile ordinaires : en les accouplant en tension, c'est-à-dire de façon que l'oxygène de l'un communique avec l'hydrogène du suivant (et en remplaçant d'ailleurs les fils par des lames de platine) on a une véritable *pile à gaz*, qui a été imaginée par un physicien anglais, M. Grove.

2. C'est Béquerel qui a le premier imaginé cette disposition : mais Daniell lui a donné une forme en quelque sorte plus *pratique*.

définir. L'hydrogène produit au contact du zinc et marchant dans le sens du courant traverse le vase poreux; mais le sulfate de cuivre SO_4^{Cu} étant décomposé par le courant, le cuivre se dépose sur la lame de cuivre, le groupe SO_4^{Cu} se dédouble: en SO_4^{Zn} qui au contact de l'eau reproduit de l'acide hydraté $\text{SO}_4^{\text{H}_2\text{O}}$, et en oxygène qui s'unit à l'hydrogène à son passage à travers le vase poreux pour former de l'eau.

Ainsi, comme conséquences de cette ingénieuse disposition: 1° l'hydrogène avant de se déposer sur le cuivre est transformé en eau; 2° l'acide sulfurique qui se transforme en sulfate de zinc dans le vase en verre est remplacé par celui qui se forme dans le vase poreux par la réduction du sulfate de cuivre. Si donc on se sert de zinc amalgamé et qu'on enlève la dissolution de sulfate de zinc de temps en temps, on a une pile dans laquelle toutes les causes d'affaiblissement du courant sont évitées. Dans ces conditions, en effet, la pile Daniell donne un courant très constant. Même lorsqu'on emploie du zinc ordinaire et qu'on laisse le sulfate de zinc, le courant est suffisamment constant pour l'usage de la télégraphie. Il est vrai qu'on ne met pas d'acide dans l'eau du vase en verre. Nous avons dit (page 48) que le sulfate de cuivre contient toujours un excès d'acide qui suffit pour que l'action sur le zinc commence.

Pile Callaud. — L'emploi d'un vase poreux a de sérieux inconvénients. Ou bien il est trop poreux, auquel cas la dissolution de sulfate de cuivre le traverse facilement, et, décomposée par le courant, laisse déposer du cuivre sur le zinc; il en résulte des courants partiels

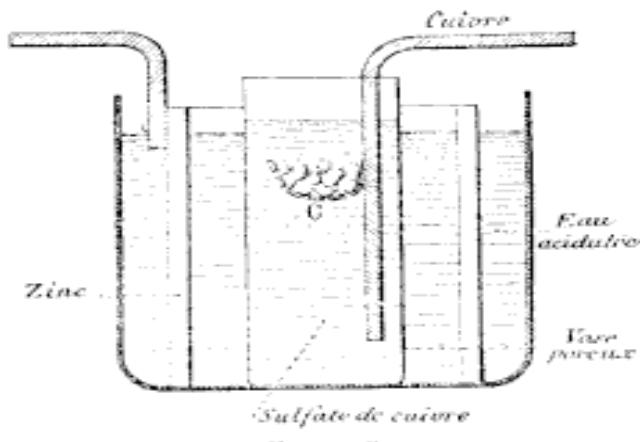


Fig. 45.

nuisibles ; ou bien il n'est pas assez poreux, et alors il offre une grande résistance au passage du courant ; ou bien il contient des substances métalliques conductrices : alors l'hydrogène y réduit le sulfate de cuivre ; le cuivre s'y dépose et finit par boucher les pores du vase et souvent par le faire fendre.

M. Callaud, de Nantes, a imaginé une disposition très simple qui permet de supprimer le vase poreux. Elle est fondée sur le principe suivant :



Fig. 46.

Quand deux liquides sont tels que, pris sous le même volume, l'un pèse plus que l'autre, ce dernier peut être versé sur le premier sans se mélanger avec lui (ou du moins le mélange s'effectue très lentement).

Tout le monde sait, en effet, qu'on peut verser par exemple de l'alcool sur de l'eau sans que les deux liquides se mélangent (fig. 46). Il en est de même de l'eau et de la dissolution de sulfate de cuivre,

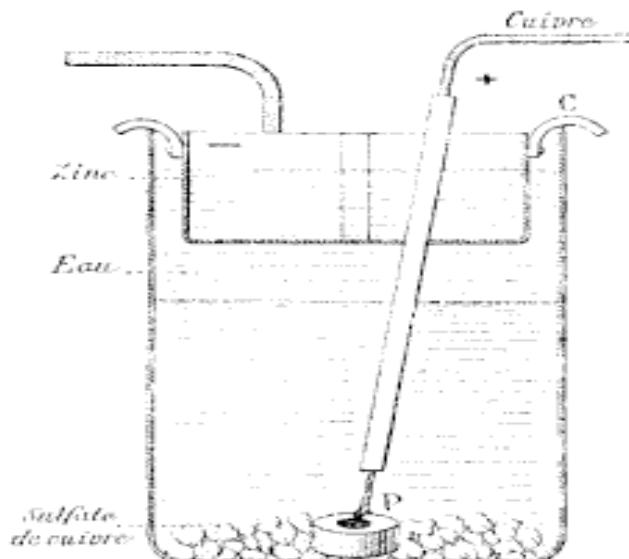


Fig. 47.

car un litre de cette dissolution pèse 1 kil. 190, tandis que le même volume d'eau ne pèse qu'un kilogramme. Il suffit, pour opérer la séparation des deux liquides, de verser l'eau sur la dissolution du sulfate lentement, avec précaution, ou bien de la verser sur une petite plaque de liège flottant sur la dissolution.

C'est ce qu'on fait dans l'élément Callaud (fig. 47). Le cylindre de zinc plonge dans l'eau et repose sur les bords

du vase en verre par trois crochets C. Un gros fil de cuivre recouvert de gutta-percha et terminé par une petite plaque de cuivre recourbée P plonge dans le vase de façon que cette plaque soit en contact avec une couche de cristaux de sulfate de cuivre. La gutta-percha sert à préserver le cuivre de tout contact avec l'eau acidulée.

Comme dans la pile Daniell, on peut se servir d'eau pure et on n'a besoin que de renouveler de temps en temps les cristaux de sulfate pour que la dissolution conserve à peu près le même degré de concentration. La théorie des deux piles est d'ailleurs évidemment la même.

Pile Marié-Davy. — La pile Marié-Davy n'est autre chose que la pile Daniell dans laquelle le sulfate de cuivre est remplacé par le sulfate de mercure (fig. 48). La théorie est exactement la même en substituant le mot mercure au mot cuivre. Seulement, comme le mercure qui résulte de la réduction du sulfate attaque énergiquement le cuivre, le charbon de cornues a été substitué à ce métal pour former le pôle positif ou l'électrode positive de l'élément.

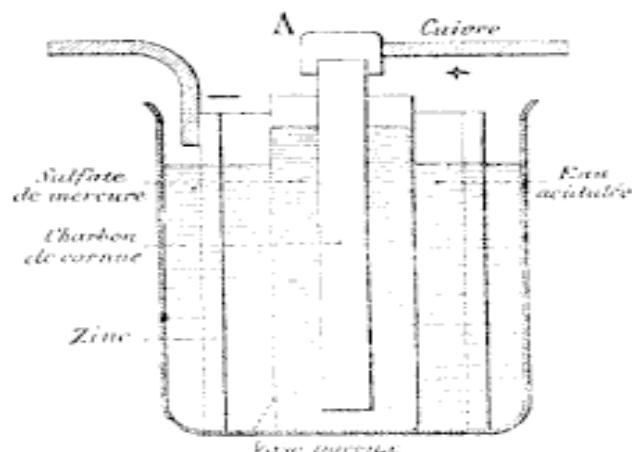


Fig. 48.

Pile Bunsen. — En remplaçant dans la pile Marié-Davy le sulfate de mercure par l'acide azotique hydraté (page 51) dont la formule chimique est $\text{AzO}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$, on obtient une pile imaginée par Grove et modifiée par Bunsen dont elle porte le nom. L'acide azotique est décomposé par le courant comme les sulfates, et une portion de son oxygène s'unit à l'hydrogène qui traverse le vase poreux pour former de l'eau, comme dans les piles précédentes. Le résidu de cette décomposition $\text{AzO}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$

$+ \text{H} = \text{AzO}_3 + 2\text{HO}$ est de l'acide hypoazotique AzO_3 , qui se dissout dans l'acide non décomposé qui entoure le charbon des cornues.

Cette pile est très énergique, mais son courant a une intensité rapidement décroissante : elle est très employée quand on veut obtenir des effets électriques puissants ; on ne s'en sert pas en télégraphie.

Pile Leclanché. — En remplaçant dans la pile Marié-Davy l'eau acidulée par une dissolution *concentrée* de

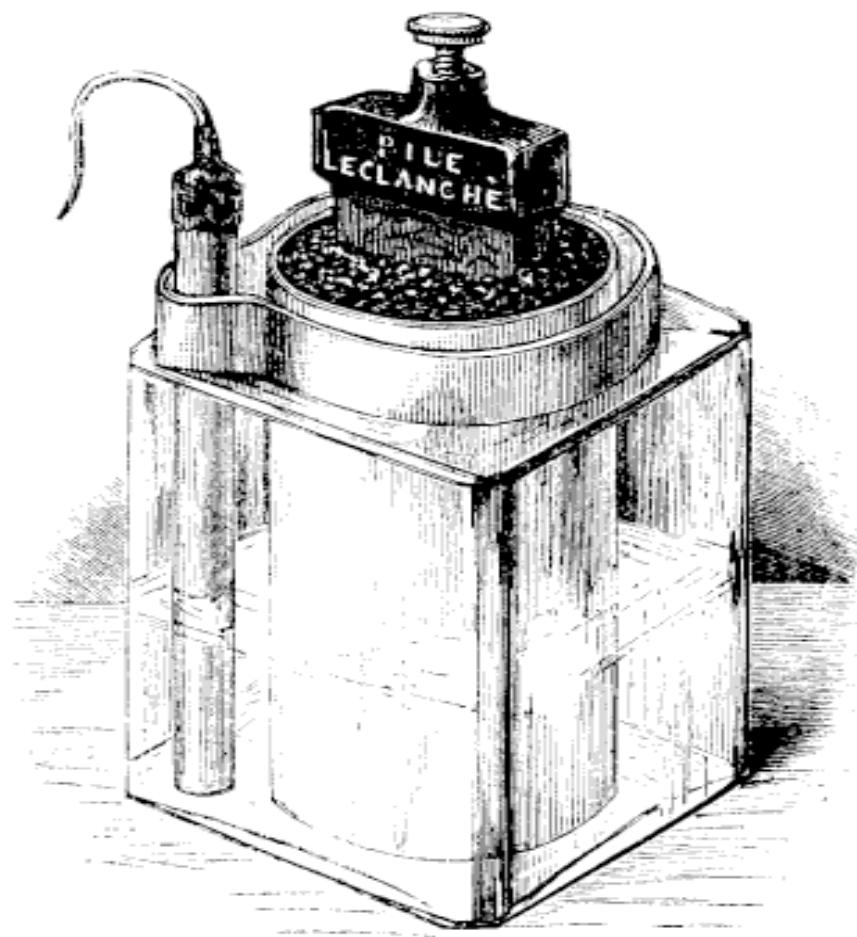
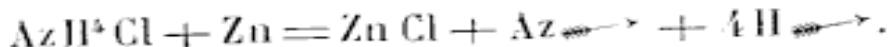


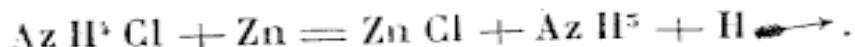
Fig. 49.

chlorure d'ammonium et le sulfate de mercure par un mélange de charbon et de bioxyde de manganèse en *poudre grossière*, on a l'élément de pile Leclanché (fig. 49).

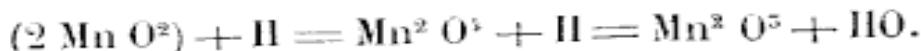
Dans le vase en verre on a la réaction déjà indiquée plus haut (page 55) comme se produisant sous l'influence de la chaleur :



Mais ici, où la chaleur n'est pas nécessaire, l'ammonium $\text{Az H}^{\text{3+}}$, au lieu de se dédoubler en azote et hydrogène, se dédouble simplement en ammoniaque et hydrogène, et il vaut mieux écrire ainsi la réaction :



L'ammoniaque se dissout dans l'eau, et l'hydrogène traversant le vase poreux se trouve en présence du bioxyde de manganèse et le réduit : il se forme du sesquioxyde de manganèse et de l'eau :



Ces réactions suffisent pour se rendre compte des effets qui se produisent dans cet élément. Mais, en réalité, il se forme des résidus plus complexes que l'eau et l'ammoniaque¹.

Indications pratiques sur les piles. — Revenons maintenant à celles de ces piles qui sont employées aujourd'hui en télégraphie pour ajouter à leur théorie quelques indications pratiques.

Pour monter une pile Callaud il faudrait : 1^o faire une dissolution concentrée de sulfate de cuivre ; en verser jusqu'au milieu des vases en verre, ajouter au fond une couche de cristaux ; 2^o verser de l'eau ordinaire (sans acide, on a vu pourquoi) avec précaution, de façon à

1. L'eau est décomposée dans l'élément : l'oxygène se rend sur le zinc, se combine avec le chlorure de zinc pour former de l'*oxychlorure* de zinc, qui se dissout très bien dans le chlorhydrate d'ammoniaque *concentré*, et qui forme d'ailleurs avec l'ammoniaque des sels complexes encore mal définis. Ces sels se déposent sur la tige de zinc qui s'encroûte quand elle n'est pas amalgamée.

éviter le mélange; 5° placer dans l'eau le cylindre de zinc; 4° enfouir jusqu'au fond la tige au cuivre recouverte de gutta-percha qui est soudée de zinc suivant. Ordinairement on se contente de placer une couche de cristaux au fond du vase et de remplir celui-ci d'eau. Cette pratique est très simple et très expéditive; on est forcée de l'employer pour aller vite, mais elle est fastidieuse parce que le zinc baigne alors dans de l'eau qui contient plus ou moins de sulfate en dissolution; ce sulfate décomposé par le courant dépose du cuivre sur le zinc, d'où résultent, nous le savons, des courants partiels et une usure inutile du zinc. En tout cas, si ce dépôt se forme, il faut avoir grand soin de le faire tomber au fond du vase, en râclant la surface du zinc à l'aide d'une tige quelconque.

Il faut, de plus, maintenir toujours une couche de cristaux non dissous au fond du vase et renouveler l'eau qui disparaît par évaporation.

Pour monter la pile Marié-Davy, on commence par délayer dans l'eau le sulfate de mercure qui est très peu soluble¹; on en forme ainsi une pâte dont on entoure le charbon plongé dans le vase poreux. Le mercure qui résulte de la décomposition du sulfate se dépose au fond du vase, ou même le traverse en partie, ce qui n'a pas d'inconvénient, car, en ce cas, il ne peut qu'amalgamer le zinc, ce qui améliore la pile.

Pour éviter l'altération de la lame de cuivre qui réunit le charbon d'un élément avec le zinc de l'élément suivant, sous l'influence des vapeurs mercurielles et du sulfate qui grimpe le long du charbon, on recouvre la tête de celui-ci d'une masse de plomb A (voir la figure ci-dessus) dans laquelle on soude la lame de cuivre, et on

1. Il faut éviter autant que possible le contact *prolongé* du sulfate avec les mains : les sels de mercure sont en effet dangereux à manier sans précaution, surtout quand ils sont acides comme celui dont il est question.

applique sur les deux une épaisse couche de vernis.

Le sulfate de mercure est décomposé lentement et il ne traverse pas le vase poreux, de telle sorte qu'une pile Marié-Davy enfermée dans une boîte et à laquelle on ajoute un peu d'eau de temps en temps pour tout entretien peut servir pendant très longtemps si elle n'a pas à effectuer un grand travail.

Pour monter une pile Leclanché on place les vases poreux dans les vases en verre : ces vases poreux sont tout prêts : ils contiennent la lame de charbon plongée dans un mélange de charbon et de bioxyde de manganèse en poudre grossière parce qu'elle conduit mieux ainsi le courant et qu'elle brûle mieux l'hydrogène. Chaque vase est bouché par une plaque de résine percée d'un trou pour laisser échapper l'air et les gaz qui se dégagent quand on le plonge dans le liquide. Dans le vase en verre on met environ 400 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque, le bâton de zinc, et de l'eau jusqu'aux deux tiers de la hauteur. On n'a plus alors qu'à ajouter de l'eau de temps en temps pour maintenir le niveau, et à renouveler le sel tous les six mois jusqu'à ce que le zinc soit usé.

Notons encore un inconvénient commun aux trois piles. Au bout d'un certain temps les sulfates de zinc, de cuivre, de mercure, les sels ammoniacaux, grimpent le long des parois des verres et des vases poreux : il faut enlever ces dépôts qui produiraient des courants secondaires, ou détérioreraient les lames qui font communiquer les éléments entre eux.

Il faut aussi éviter de placer les éléments juxtaposés sur des supports humides, et de les laisser en contact : il peut en résulter des pertes d'électricité fâcheuses parce qu'elles conduisent à employer un nombre d'éléments trop considérable.

Répétons enfin que l'accouplement des éléments de ces piles usité en télégraphie est l'accouplement *en tension*

qui, dans les circonstances ordinaires où l'on se trouve en télégraphie, augmente l'intensité du courant produit. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

Telles sont les principales piles, sources des courants électriques proprement dits dont on se sert en télégraphie, et dont nous allons maintenant déterminer la mesure et les lois.

DEUXIÈME SECTION

LE COURANT ÉLECTRIQUE ET LA BOUSSOLE OU GALVANOMÈTRE

Nous avons étudié l'instrument qui produit le courant électrique, la pile. Avant de pouvoir utiliser ce courant d'une manière convenable pour l'établissement d'un système de télégraphie, il est nécessaire de connaître quelles sont les diverses circonstances qui font varier son intensité et les lois de ces variations. Pour cela il nous faut un instrument qui constate ces variations et qui puisse même en donner une mesure : c'est (nous l'avons déjà indiqué plusieurs fois) la *boussole* ou *galvanomètre*¹ ; mais la construction du galvanomètre est basée sur l'emploi d'aiguilles *aimantées* ; de là la nécessité d'étudier préalablement l'aimantation et les aimants.

NOTIONS DE MAGNÉTISME

Aimants naturels. — On trouve dans la nature un minéral de fer, appelé oxyde de fer *magnétique* et dont

1. C'est un médecin italien, *Galvani*, qui observa le premier les effets d'un courant électrique : de là le nom de *Galvanisme* qu'on donne quelquefois à la partie de l'électricité où l'on traite des courants ; de là le nom de *Galvanomètre* donné à un instrument destiné à mesurer l'intensité des courants.

la formule chimique est Fe^5O^3 .¹ Ce corps jouit de la propriété d'attirer le fer et plusieurs autres métaux : on dit qu'il est *aimanté* et on l'appelle *aimant naturel*.

On peut communiquer la même propriété à des barreaux d'acier qu'on appelle alors barreaux aimantés artificiels ou simplement aimants.

Voici leurs propriétés les plus simples.

Pôles d'un aimant. Ligne neutre. — I. — Si on

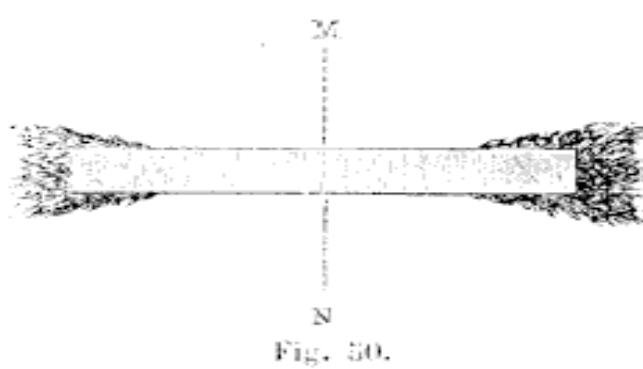


Fig. 50.

plonge un barreau aimanté dans de la limaille de fer, lorsqu'on l'en retire, la limaille reste adhérente au barreau, principalement aux extrémités où elle forme une sorte d'aigrette, semblable à la

figure 50 ci-contre. La partie médiane du barreau paraît n'exercer aucune action sur la limaille : on l'appelle partie ou ligne *neutre* de l'aimant. On appelle *pôles* les

points où s'exerce l'attraction maximum sur la limaille de fer ; ils sont situés très près des extrémités dans les aimants ordinaires.

II. — Les pôles sont différents l'un de l'autre.

En effet, si on suspend un barreau par son centre à un fil très fin sans torsion, ou si on le pose sur un pivot vertical, on le voit osciller autour d'une direction NS suivant laquelle il finit par rester en équilibre (fig. 51).

Si on essaye de le retourner bout pour bout, il ne reste

1. Le symbole Fe représente 28 grammes de fer : Fe^5 en représente 84 grammes unis, dans Fe^5O^3 , à 4 fois 8 grammes ou 32 grammes d'oxygène.



Fig. 51.

pas dans cette position; il fait un demi-tour et se fixe après un certain nombre d'oscillations dans sa direction primitive. On en conclut que la force, quelle qu'elle soit, qui produit cet effet sur un aimant mobile, agit différemment sur les deux pôles.

III. — Les pôles identiques se repoussent; les pôles contraires s'attirent.

C'est ce qu'on vérifie en approchant d'un pôle d'un premier barreau successivement les deux pôles d'un second barreau, ou bien en se servant de deux aiguilles aimantées mobiles sur des pivots verticaux.

Il en résulte que si on place un barreau aimanté mobile M' au-dessus d'un aimant fixe M (fig. 52), le premier se placera toujours parallèlement au second, de façon que leurs pôles contraires N et S soient en regard.

On est ainsi conduit à penser que la terre agit sur un aimant mobile à la manière d'un aimant fixe passant par le centre de la terre, dont l'une des extrémités serait dirigée à peu près vers le nord et l'autre à peu près vers le sud. La direction d'un aimant mobile fait en effet avec la direction nord-sud un certain angle qu'on appelle *angle de déclinaison* et dont la grandeur est très exactement connue. Cela étant, si on appelle pôles boréal et austral les pôles de cet aimant terrestre tournés vers le nord et le sud, d'après ce qui précède on doit donner des noms contraires aux pôles de l'aimant mobile tournés vers les mêmes points cardinaux.

Pôles austral et boréal d'une aiguille aimantée.— Nous appellerons donc pôle *austral* [A] d'une aiguille aimantée mobile son pôle tourné vers le *nord*, et pôle *boréal* [B] son pôle tourné vers le *sud*. On distingue

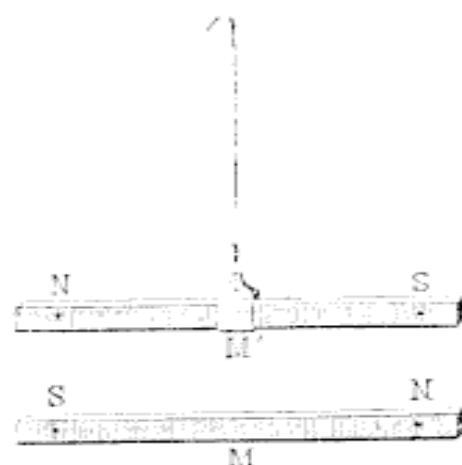


Fig. 52.

habituellement ces pôles sur les aiguilles par une teinte spéciale sur l'un des pôles.

Boussole marine. — Cette propriété remarquable que possède une aiguille aimantée mobile de se maintenir dans une direction fixe faisant un angle connu avec la direction du nord-sud géographique, et cela en un point quelconque de la surface de la terre, est la cause de l'emploi de telles aiguilles dans la navigation : elles permettent en effet de déterminer avec certitude le chemin que l'on suit. Ce qu'on appelle la boussole marine, ou boussole de déclinaison, ou simplement *boussole*, consiste essentiellement en une aiguille aimantée mobile sur un pivot vertical.

Communication du magnétisme. — La propriété magnétique ou le *magnétisme* peut se communiquer d'un corps à un autre.

1^o *au contact.*

En effet un morceau de fer ou d'acier mis au contact



Fig. 55.

d'un aimant BA y reste adhérent (fig. 55) ; il est alors aimanté, car il peut attirer et retenir un autre morceau de fer et ainsi de suite.

2^o *à distance.*

En effet, un barreau de fer *ab* placé auprès du pôle d'un aimant *A*, s'aimante à son tour, puisqu'il peut agir

sur une aiguille aimantée ou un morceau de fer comme un aimant (fig. 54).

En plaçant un aimant sous une feuille de carton (fig. 55), et en versant de la limaille de fer fine sur le carton, on voit l'action magnétique s'exercer à travers le carton, et la limaille former, en vertu de cette action, des lignes régulières rayonnant autour des pôles.

Dans les deux cas, il est à remarquer qu'au point *b*

voisin] de l'aimant ou en contact avec lui se développe un pôle de nom contraire à celui de l'aimant et au point le plus éloigné *a* un pôle de même nom.



Fig. 54.

Procédés d'aimantation. — Les anciens procédés qui servaient à aimanter des barreaux sont aujourd'hui abandonnés depuis qu'on a pu aimanter, ainsi que nous

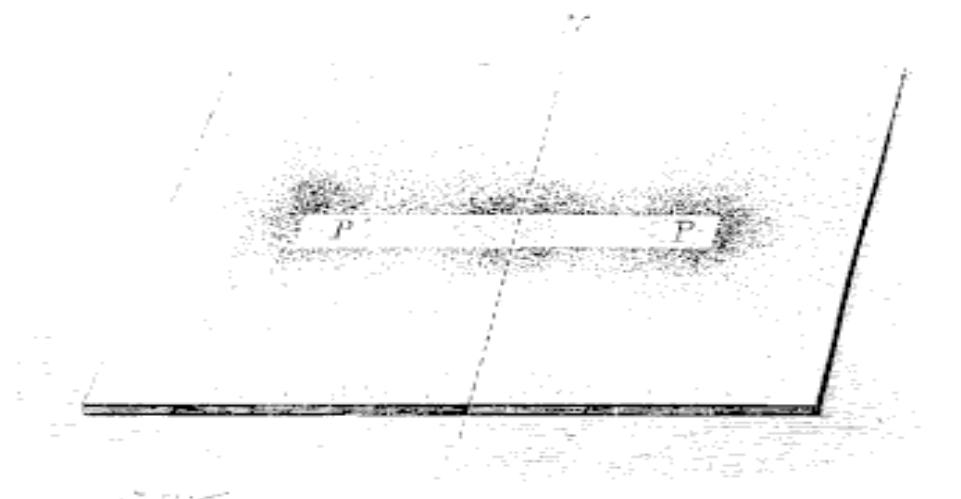


Fig. 55.

le verrons, le fer et l'acier à l'aide des courants électriques. Nous indiquerons néanmoins deux de ces procédés très simples.

Méthode de la simple touche (fig. 56). — Cette méthode consiste à frotter le barreau à aimanter AB avec un pôle d'un aimant M, et cela d'un bout à l'autre; les flèches indiquent suffisamment le sens des frictions.

Méthode de la touche séparée (fig. 57). — On obtient une aimantation plus énergique en réunissant au milieu du barreau à aimanter les pôles *contraires* de deux aimants

et en frottant le barreau, comme l'indiquent les flèches. On augmente encore l'aimantation en faisant reposer le barreau sur les extrémités contraires de deux aimants M et M' , les pôles B et A de ces extrémités étant les mêmes que ceux b et a des aimants mobiles qui se dirigent vers eux pendant les frictions.

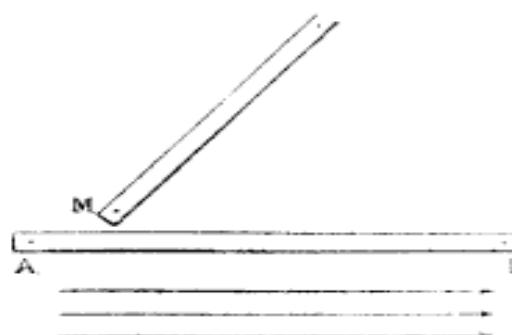


Fig. 56.

très petite quantité de charbon; *fer doux*, du fer qui n'en contient pas du tout.

Ces deux qualités de fer se comportent sous l'action

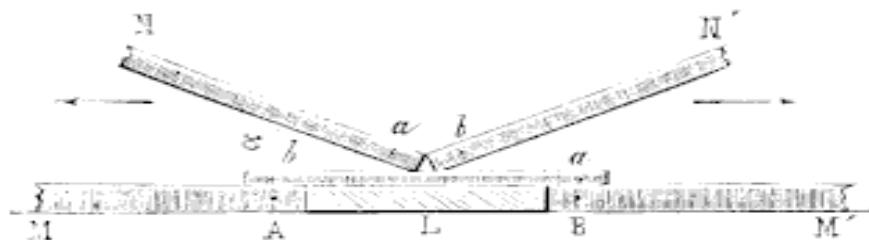


Fig. 57.

du magnétisme d'une façon toute différente. L'acier aimanté conserve son aimantation; le fer doux ne la conserve que pendant la durée de l'action magnétisante: dès que celle-ci cesse, l'aimantation du fer doux cesse immédiatement.

Ce dernier point est facile à montrer. Un morceau de fer doux BA est aimanté à distance par un pôle d'aimant: il soutient alors une série de petits morceaux de fer (fig. 58). Si on retire brusquement l'aimant, ces morceaux tombent immédiatement.

Malheureusement il est fort difficile d'obtenir du fer absolument *doux*, c'est-à-dire exempt de toutes traces de charbon; de telle sorte que le fer ne perd pas *instantanément*

nement le magnétisme qu'on lui a communiqué; il en conserve toujours une certaine quantité qu'on nomme *magnétisme rémanent* du fer doux. On appelle *force coercitive* de l'acier la propriété qu'il a de conserver la plus grande partie du magnétisme qui lui a été communiqué. Nous aurons l'occasion de revenir plus tard sur le magnétisme rémanent du fer doux, très nuisible dans nos appareils télégraphiques¹.

Armures ou armatures des aimants. — Quand on veut avoir des aimants puissants on réunit des barreaux aimantés en faisceaux auxquels on donne soit la forme rectiligne, soit la forme en fer à cheval (fig. 59).

On met ordinairement en prise avec les pôles de ces aimants des pièces en fer doux telles que C auxquelles on suspend des poids. Il se forme dans le fer doux deux pôles contraires aux pôles en regard A, B, de l'aimant. Il en résulte une attraction mutuelle qui maintient la force portative de l'aimant. Les pièces telles que C se nomment *armures* ou *armatures* des aimants.

La force avec laquelle une armature en fer doux est

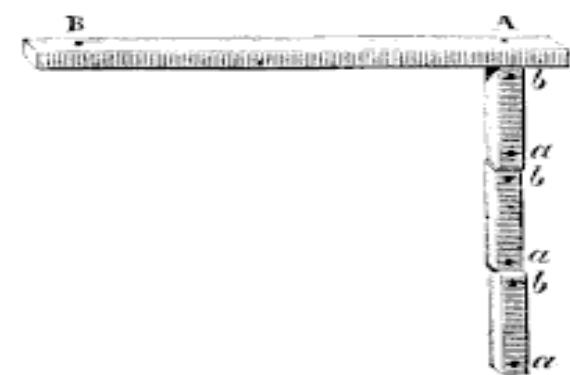


Fig. 58.

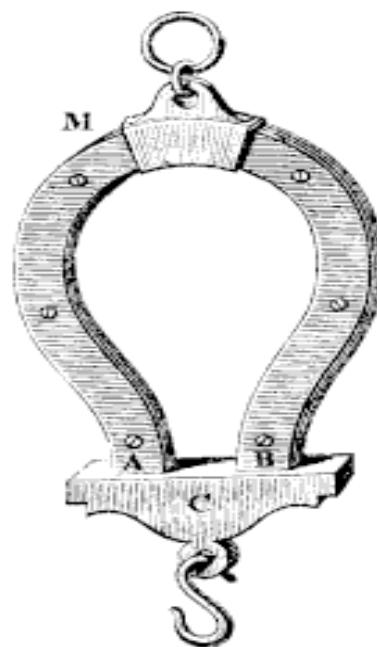


Fig. 59.

1. Le fer et l'acier ne sont pas les seules substances sur lesquelles un aimant puisse agir: la plupart des corps sont sensibles à l'action d'aimants très énergiques, les uns étant attirés, les autres repoussés; mais le fer et l'acier sont les seuls jusqu'à présent avec lesquels on ait pu faire des aimants.

attirée par un aimant diminue très rapidement avec la distance. A une distance de quelques millimètres elle est déjà très faible. Si donc on veut utiliser au point de vue mécanique cette attraction d'un aimant sur son armature, il faut s'arranger de façon que celle-ci reste toujours très rapprochée de l'aimant. Nous reviendrons plus tard sur ce point.

Système astatique d'aiguilles aimantées. — La force avec laquelle une aiguille aimantée mobile, écartée de sa position d'équilibre, y revient, est d'autant plus grande que l'aimantation de l'aiguille est plus énergique. On a souvent intérêt à avoir une aiguille fortement aimantée, et en même temps extrêmement mobile, de sorte que la moindre force l'écarte de sa position d'équilibre d'un angle aussi grand que possible. Suspen-

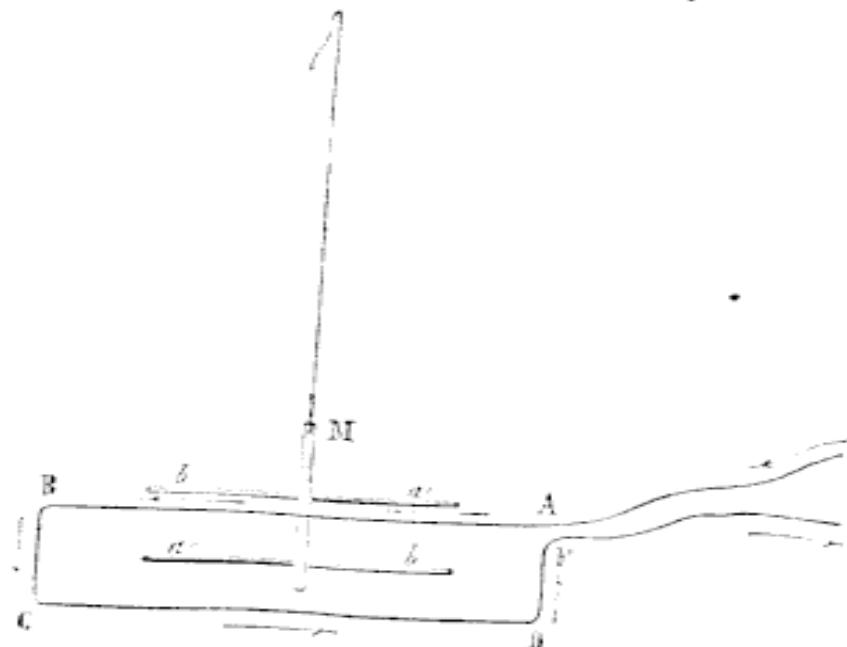


Fig. 60.

dre une aiguille très fine à un fil très mince sans torsion ne suffirait pas. Nobili a eu l'idée de diminuer l'action attribuée à la terre qui ramène toujours l'aiguille à sa position, en superposant deux aiguilles de même nature à peu près également aimantées, leurs pôles contraires

a, *b'* et *b*, *a'* étant en regard (fig. 60). Les deux aiguilles étant réunies par un fil *rigide*, et suspendues à un fil de soie sans torsion forment un système très peu sensible à l'action de la terre; car il est évident que cette action s'exerce d'une manière opposée sur les extrémités superposées des deux aiguilles.

On a ainsi ce qu'on appelle un système *astatique* d'aiguilles : écarté de sa position d'équilibre, il y revient sous l'action d'une force extrêmement faible, que la moindre force étrangère peut contre-balance.

Pour pouvoir mesurer les déviations des aiguilles aimantées, on les place habituellement au-dessus de cercles divisés dont les centres sont au-dessous des centres des aiguilles (fig. 61). Ces cercles ont leur circonference divisée en 560 parties égales, qu'on nomme degrés, et on exprime les déviations en degrés : ainsi la figure ci-contre indique une déviation de l'aiguille égale à 50 degrés. Ordinairement l'aiguille, dans la position d'équilibre qu'elle prend sous l'action de la terre, est placée dans la direction 0 — 180 degrés : une déviation de 90 degrés la met à angle droit avec sa position d'équilibre : une déviation de 180 degrés la retourne bout pour bout... etc.

Ces préliminaires posés, nous allons voir comment on a été conduit à utiliser des aiguilles aimantées pour la mesure des intensités des courants électriques.

Action des courants sur les aimants. — Les courants électriques agissent sur les aiguilles aimantées, nous l'avons déjà constaté (page 84). Ils agissent également sur le fer doux comme agiraient des aimants; mais nous laisserons de côté actuellement cette seconde action, nous réservant de l'étudier au moment même où nous

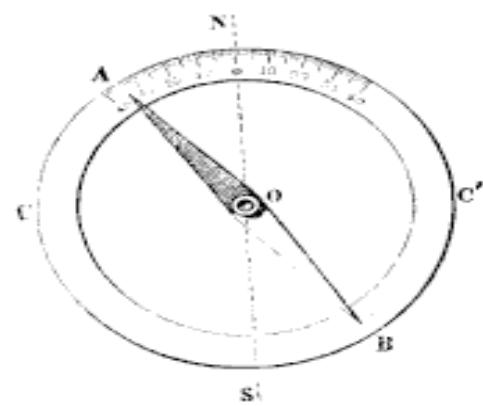


Fig. 61.

en aurons besoin pour l'explication des organes de récepteurs télégraphiques.

Expérience d'Ørsted. — La première expérience qui mit en évidence l'action d'un courant sur une aiguille aimantée, est due à un physicien danois, Ørsted, qui fit cette grande découverte en 1820.

On tend un fil de cuivre XY au-dessus d'une aiguille aimantée *ab* mobile sur un pivot : on fait aboutir aux bouts du fil les deux rhéophores d'une pile. Dès que le courant passe, l'aiguille est brusquement déviée. Si le courant change de sens, la déviation de l'aiguille en change aussi. Si on met le fil XY *au-dessous* de l'aiguille, le sens des déviations est contraire de celui qu'elles ont quand le fil est au-dessus.

Sens de la déviation. Règle d'Ampère. — Supposons, avec Ampère, un observateur couché le long du fil conducteur, *regardant toujours l'aiguille*, et de façon que le courant entrant par ses pieds sorte par sa tête, nous



Fig. 62.

appellerons *droite* et *gauche du courant*, la droite et la gauche de cet observateur fictif (fig. 62). On peut alors rassembler tous les

cas possibles dans l'énoncé simple qui suit :

« Le sens de la déviation d'une aiguille aimantée sous l'action d'un courant est tel que le pôle *austral* de l'aiguille marche toujours vers la *gauche du courant*. »

Grandeur de la déviation. — La grandeur de la déviation dépend de la distance du fil à l'aiguille : elle diminue rapidement à mesure que cette distance augmente. Nous ne pouvons donner ici les lois de ces variations ; l'indication qu'on vient de donner suffira pour ce qui suit.

On peut augmenter la grandeur de la déviation de plusieurs manières :

1^o En rapprochant le fil autant que possible de l'aiguille, d'après ce qui précède;

2^o En mettant l'aiguille au centre d'un cadre sur lequel le fil conducteur du courant est enroulé (fig. 65).

En effet, plaçons l'aiguille *ab* au milieu du cadre ABCD formé par un fil de cuivre. Représentons dans les 4 parties du cadre l'observateur fictif d'Ampère

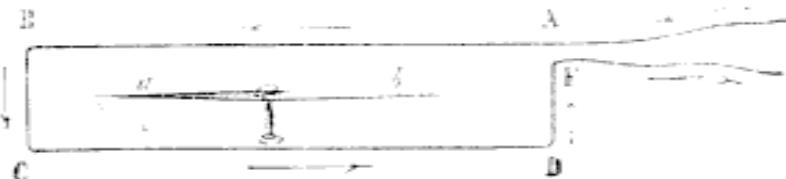


Fig. 65.

par une flèche dont la direction marque le sens du courant; on voit alors que les 4 parties du cadre concourent à dévier le pôle austral de *a* l'aiguille dans le sens de la flèche; la gauche de l'observateur est en effet du même côté dans les 4 positions.

Cette disposition simple augmente donc nécessairement la grandeur de la déviation de l'aiguille. On appelle l'instrument ainsi formé *multiplicateur*.

Si au lieu d'un tour de fil on en fait plusieurs sur le cadre, les actions de chacun d'eux s'ajoutent et la déviation de l'aiguille augmente encore. Mais on ne peut pas augmenter indéfiniment le nombre de tours; si on dépasse une certaine limite, la déviation diminuerait au lieu d'augmenter: nous en verrons plus tard la raison. On a pu néanmoins aller dans certains instruments de ce genre jusqu'à 24 mille tours. Il va sans dire que les fils de cuivre qui forment ces tours doivent être avec soin isolés les uns des autres: on se sert à cet effet de fils de cuivre recouverts de soie;

3^o En faisant agir le multiplicateur sur un système astatique d'aiguilles aimantées suspendues à un fil de soie sans torsion.

Dans ce cas, en effet, une portion de la force déviatrice du courant n'est pas contre-balancée par l'action de la terre sur les aiguilles.

On met alors l'aiguille inférieure ab du système au milieu du cadre multiplicateur, l'aiguille supérieure restant en dehors (fig. 64).

En considérant l'action du multiplicateur sur l'aiguille intérieure ab nous venons de voir sur une figure sembla-

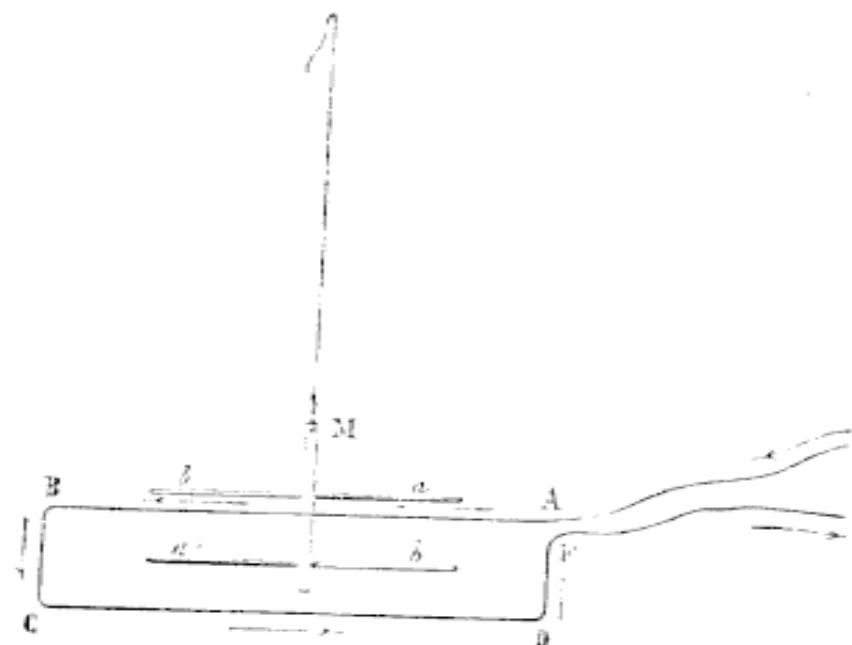


Fig. 64.

ble à celle ci-contre que la déviation de a (et par suite du système qui en est solidaire) doit avoir lieu en avant et celle de b en arrière.

En considérant l'action du cadre sur l'aiguille extérieure $a'b'$, on voit en appliquant la règle d'Ampère : 1^o que l'action de la partie AB du cadre tend à faire tourner cette aiguille comme l'autre et s'ajoute ainsi à l'action sur l'aiguille intérieure ; 2^o que l'action des 5 autres portions du cadre tend à faire mouvoir le système en sens contraire, mais comme elles sont *beaucoup plus éloignées* de $a'b'$ que AB, leur action est aussi beaucoup plus faible : l'expérience prouve que leur somme a une influence moindre que celle de AB. Il en résulte que, en définitive, l'action sur l'aiguille extérieure augmente encore un peu

la déviation qui résulte de l'action sur l'aiguille intérieure.

Galvanomètres. — On appelle *galvanomètres* les multiplicateurs dont on vient d'indiquer les propriétés.

❖ **Galvanomètre ordinaire ou Boussole** (fig. 65). — Le galvanomètre ordinaire dont on se sert dans les bureaux

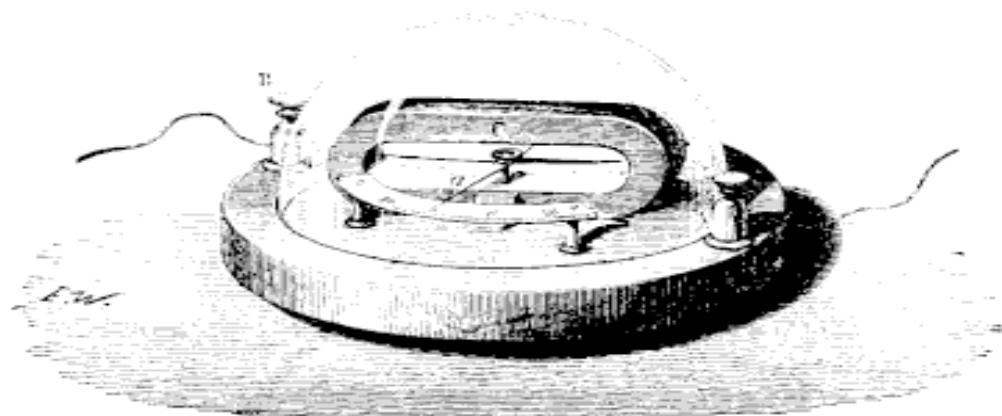


Fig. 65.

télégraphiques, et qu'on nomme habituellement *boussole*, est un multiplicateur ordinaire dont le cadre en bois porte quelques tours de fil de cuivre recouvert de soie : les extrémités du fil aboutissent à deux bornes en laiton AB auxquelles on peut fixer par des vis les rhéophores d'une pile, ou d'autres fils conducteurs. Comme l'aiguille aimantée au repos doit toujours être dans le plan du cadre, et qu'elle est ainsi très peu visible, on lui ajoute une autre aiguille légère en laiton *a* qui lui est perpendiculaire et dont une extrémité se meut en face des divisions d'un cadran divisé en degrés : on peut ainsi lire commodément les déviations. À l'état de repos, la pointe de l'aiguille *a* est placée au zéro de la graduation. L'appareil est entouré d'un globe en verre qui préserve l'aiguille des agitations de l'air.

Boussole de sinus¹. — C'est une boussole comme la

1. On appelle *angle* la portion d'espace comprise entre deux lignes
MERCADIER.

précédente, seulement le cadre est posé sur une plate-forme D mobile autour d'un axe vertical passant par le centre de l'aiguille; cette plate-forme, mise en mouvement à l'aide d'un bouton o , porte une pointe t qui parcourt les divisions d'un cercle gradué placé sur une seconde plate-forme fixe supportée par 5 vis calantes (fig. 66). La pointe de l'aiguille en laiton a , perpendiculaire à l'aiguille aimantée qui est dans le plan du cadre, est ordinairement placée entre 2 petites tiges qui limitent ces oscillations afin de diminuer le temps des expériences. L'appareil est construit de façon que lorsque cette aiguille

droites indéfinies OA et OB qui se coupent : OA et OB sont *les côtés*, et O le *sommet* de l'angle.

On dit qu'une ligne est *perpendiculaire* à une autre CD , lorsque les angles ABD et ABC qu'elle forme avec elle sont *égaux*.

Si on prend sur le côté OA d'un angle une longueur OC égale à

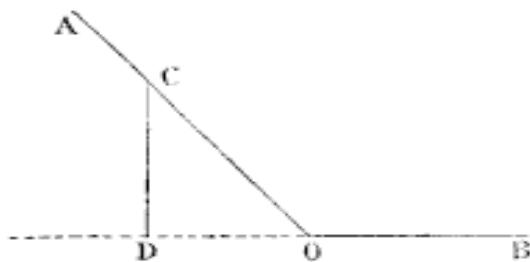


Fig. 68.

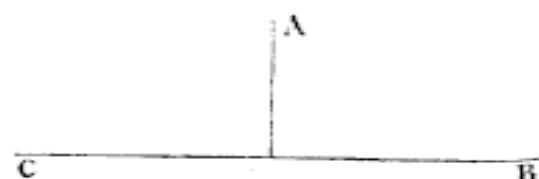


Fig. 69.

l'unité de longueur, un mètre par exemple, et si on trace CD perpendiculaire à l'autre côté OB , on appelle *sinus* de l'angle AOB , la longueur CD de cette perpendiculaire. Si l'angle AOB est assez grand il

peut arriver que pour avoir son sinus on soit obligé de prolonger le côté OB à gauche du sommet O , mais la définition ne change pas pour cela.

Ce que nous appelons *déviation* d'une aiguille aimantée n'est autre chose que l'angle formé par ses positions extrêmes; dès lors on

voit ce qu'il faut entendre par ces mots : *sinus d'une déviation*, ou *sinus d'un certain nombre de degrés*.

On trouve dans certains livres les valeurs des sinus de tous les angles de 1 à 560 degrés.

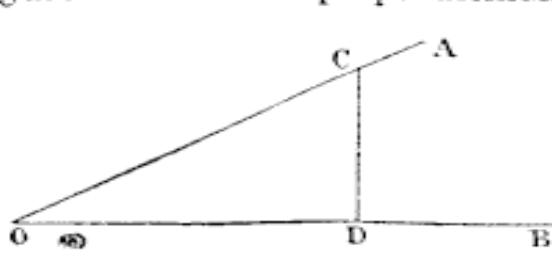


Fig. 70.

guille est juste au-dessus d'un trait tracé sur le support *f* des 2 tiges, elle est en même temps *en face de la pointe t.* Sur le cadre sont enroulés 7 ou 8 tours de fil de cuivre

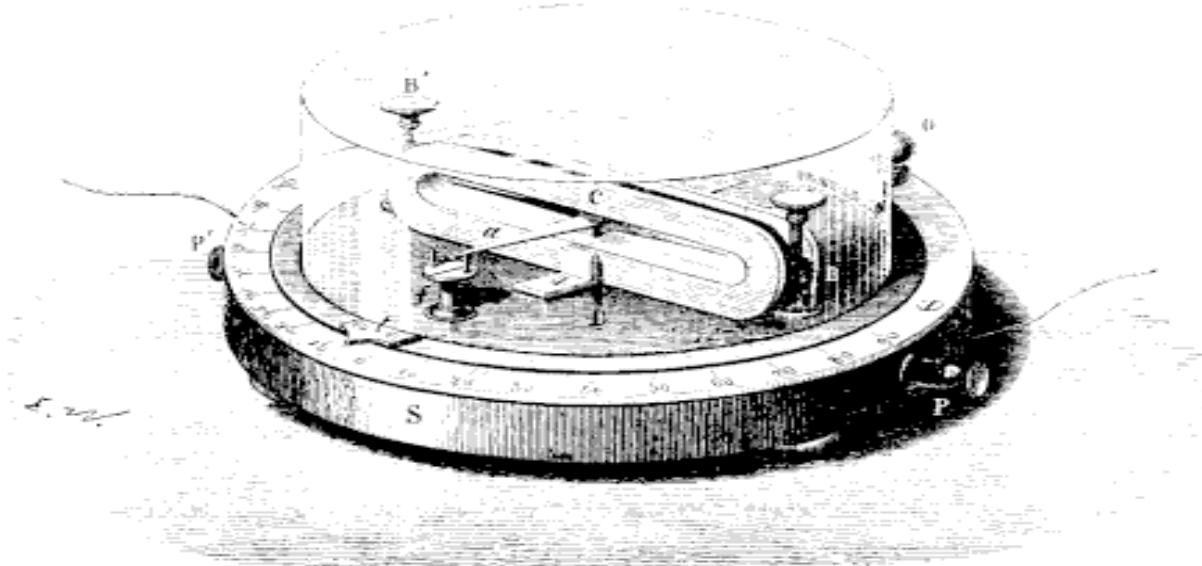


Fig. 66.

recouvert de soie dont les 2 extrémités aboutissent à deux bornes P et P'.

On opère avec cet instrument de la manière suivante

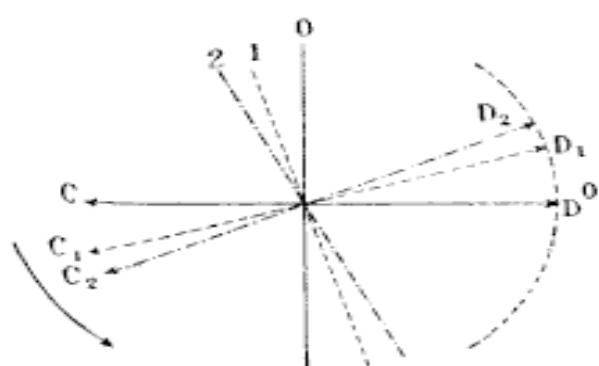


Fig. 67.

(fig. 67). Supposons que les tiges a et b n'existent pas. Un courant passe dans le fil du cadre; l'aiguille aimantée sort du cadre et passe de la position 0 à la position 1, pendant que l'aiguille CD prend la position $C_1 D_1$. Au lieu de lire la déviation

DD₁ comme on le ferait avec la boussole ordinaire, on fait mouvoir la plate-forme P à l'aide du bouton B, de façon à *poursuivre* en quelque sorte l'aiguille aimantée. Celle-ci dévie un peu plus, mais il arrive un moment

où le cadre recouvre de nouveau l'aiguille et où l'aiguille CD est au-dessus du trait m . A ce moment le système est en équilibre l'aiguille aimantée occupant la position 2 et l'aiguille C D la position C₂D₂. On lit alors la déviation DD₂ indiquée par la pointe A sur le cercle gradué. Les déviations ainsi mesurées diffèrent de celles qu'on observe à l'aide d'une boussole ordinaire; nous verrons tout à l'heure quel est le but qu'on atteint en opérant ainsi, et ce que signifie la dénomination de boussole *de sinus*.

Galvanomètre de Nobili. — C'est un instrument très

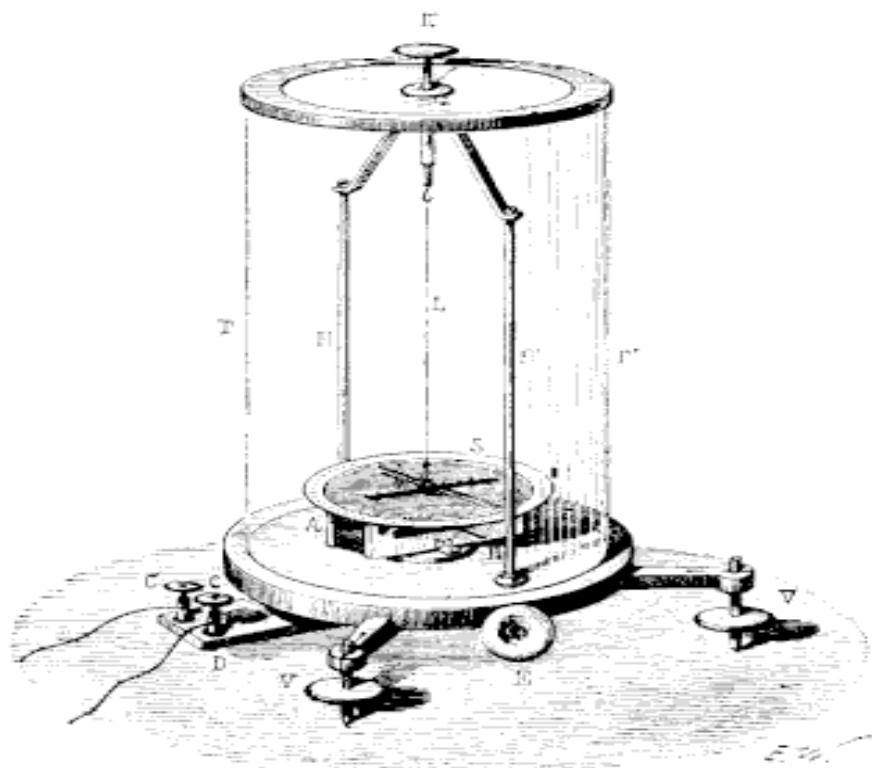


Fig. 71.

sensible dans lequel Nobili a utilisé le système astatique d'aiguilles qu'il avait imaginé (fig. 71).

Le fil conducteur recouvert de soie est enroulé autour d'un cadre en ivoire qui porte le cadran divisé sur lequel se meut l'aiguille supérieure. Le système des deux aiguilles est supporté par un fil de coton L. L'appareil est

recouvert d'une cloche de verre percée d'un trou qui laisse passer un bouton K, au moyen duquel on peut soulever ou abaisser les aiguilles. Le cadre repose sur un support qui tourne à frottement doux, ce qui permet d'amener le *zéro* des divisions en face de l'aiguille supérieure : ce cadre porte 2 bornes auxquelles aboutissent les deux bouts du fil du cadre.

Cet instrument est extrêmement sensible ; il permet par exemple de montrer l'effet d'un élément de pile formé avec une plaque de zinc, une plaque de cuivre et de l'eau ordinaire, et même de l'eau distillée.

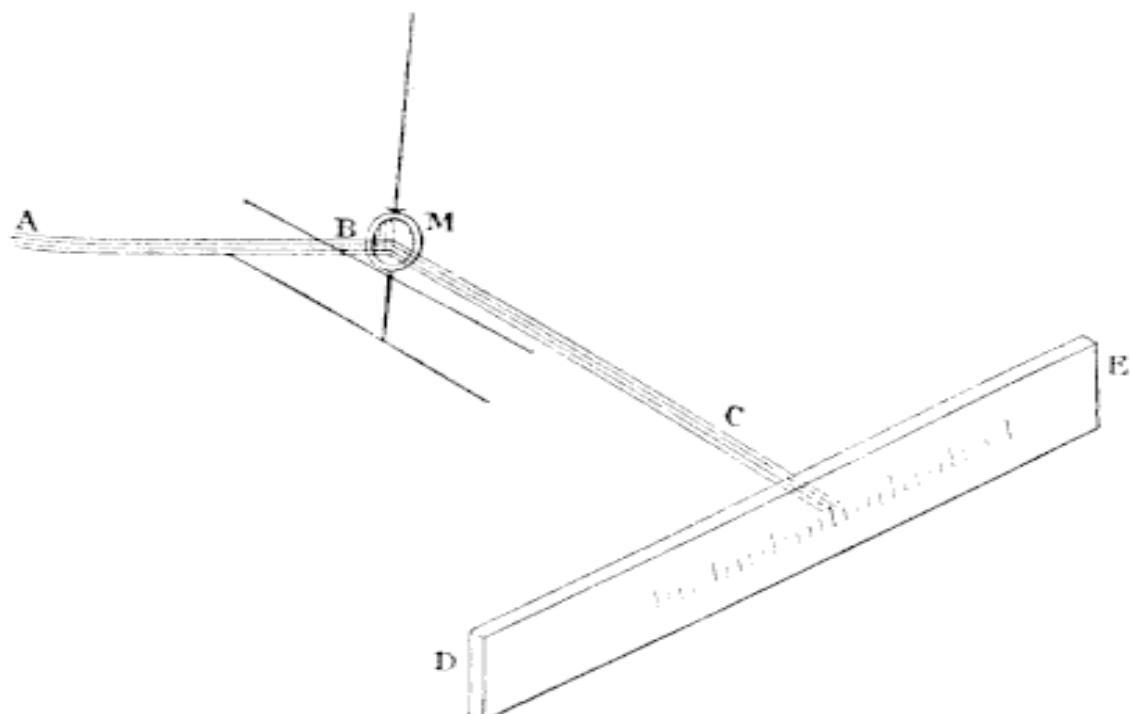


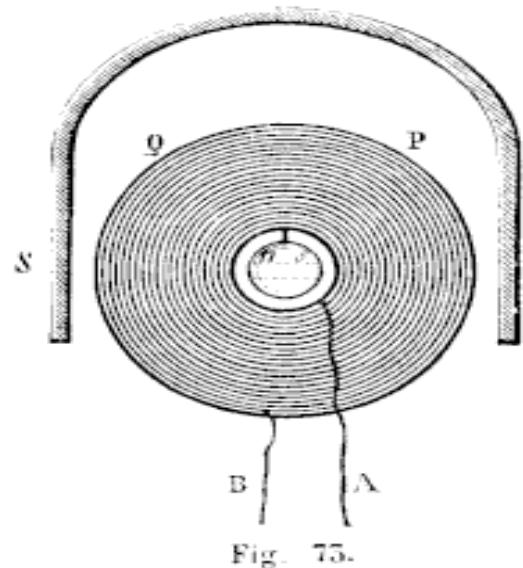
Fig. 72.

On peut augmenter encore la sensibilité de cet instrument et montrer en même temps ses indications à un nombreux auditoire, en fixant au système des deux aiguilles un petit miroir concave M (fig. 72). On se met dans l'obscurité et on fait tomber sur le miroir un faisceau de rayons lumineux AB provenant d'une lampe par exemple. Ce faisceau est renvoyé, *réfléchi* par le miroir dans une autre

direction BC. On fait tomber ce faisceau *réfléchi* sur un écran DE sur lequel on a tracé des divisions équidistantes. Le miroir est alors dévié comme les aiguilles et le faisceau BC parcourt les divisions. En plaçant l'écran de plus en plus loin, on voit que le chemin parcouru par l'extrémité C du faisceau pourra être beaucoup plus grand que celui que parcourt ordinairement l'extrémité de l'aiguille sur son cadran. Sans compter que, d'après une propriété des miroirs, l'angle dont le faisceau BC tourne est double de celui dont le miroir lui-même et les aiguilles ont tourné. On peut donc amplifier beaucoup de très faibles déviations de l'aiguille.

Galvanomètre à miroir de M. W. Thomson. — M. W. Thomson a construit d'après ce principe un galvanomètre à miroir extrêmement sensible que nous devons indiquer ici sommairement, parce qu'il est employé dans la télégraphie souterraine et sous-marine. Il se compose essentiellement d'un cadre circulaire sur lequel sont

enroulés un grand nombre de tours de fils de cuivre dont les dimensions sont calculées, d'après des principes dont nous pourrons donner une idée plus loin. L'ouverture intérieure du cadre est presque remplie par le miroir M suspendu au cadre par un très petit fil sans torsion. Derrière le miroir (fig. 75) est appliqué un petit barreau aimanté ns. Le poids du miroir et du barreau est extrêmement faible, et l'appareil est d'une sensibilité remarquable.



Rapport entre l'intensité d'un courant et la déviation d'un galvanomètre. — Tous les galvanomètres que

nous venons de décrire peuvent évidemment : 1^o constater l'existence d'un courant; 2^o en déterminer le sens d'après la règle d'Ampère. Peuvent-ils aussi en *mesurer l'intensité* en un point du circuit, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui passe en un point pendant l'unité de temps?

Il faudrait pour cela que lorsque cette quantité d'électricité devient 2, 3, 4... fois plus grande ou plus petite, il en fût de même de la déviation du galvanomètre.

Or il n'en est pas généralement ainsi. L'expérience suivante du physicien anglais Faraday le démontre (fig. 74).

On prend 4 galvanomètres *identiques*, A, B, C, D; on les dispose comme l'indique la figure, de façon que les portions de conducteurs AB et AC, BD et CD soient égales. Il est hors de doute que, dans ces conditions, la quantité d'électricité qui passe en A est la même que celle qui passe en D, mais que celle qui traverse les deux boussoles B et C est *la moitié* de la première. Or si on examine les déviations des 4 instruments on voit qu'elles sont égales en A et en D, mais qu'en B et C elles sont loin d'avoir une valeur *moitié moindre*.

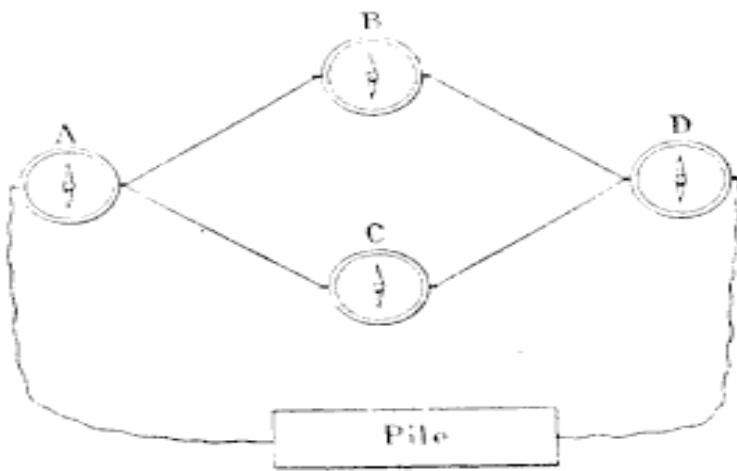


Fig. 74.

Il n'y a donc pas, en général, *proportionnalité* entre les déviations d'un galvanomètre et les intensités des courants qui les produisent. Cependant si ces déviations ne dépassent pas 20 degrés environ, l'expérience prouve que la proportionnalité existe à très peu près, et, *dans ce cas seulement*, on peut considérer les déviations comme donnant la mesure des intensités.

Mais on peut, *dans tous les cas*, déduire des déviations

d'une boussole de sinus une mesure exacte des intensités des courants. En effet si on fait l'expérience précédente avec 4 boussoles de sinus identiques ; si on détermine les déviations comme nous l'avons indiqué plus haut en décrivant cette boussole, et si enfin on prend les valeurs des sinus des 4 déviations, on trouve que les sinus des déviations des boussoles A et D sont égaux, et que les sinus relatifs aux boussoles B et C sont exactement *la moitié* des précédents.

Nous avons donc dans la boussole de sinus un instrument très précieux dont les indications nous donnent la mesure des intensités des courants en même temps que leur sens, quelle que soit la grandeur de ces intensités¹. On peut donc maintenant étudier les lois de leur variation dans tous les cas qui peuvent se présenter.

Résistance électrique d'un circuit conducteur. — Il est indispensable auparavant de préciser une notion que nous avons déjà indiquée plus haut (voir page 60), et qui est fondamentale dans l'étude des lois de l'intensité des courants.

Nous avons déjà dit ce qu'on entendait par corps bons conducteurs de l'électricité et par corps mauvais conducteurs ou isolants. Il y a entre ces deux extrêmes tous les intermédiaires possibles; de sorte que ce qu'on peut dire de plus général à ce sujet, c'est que les différents conducteurs offrent une plus ou moins grande *résistance* au

1. La boussole de sinus n'est pas le seul instrument dont les indications soient proportionnelles aux intensités des courants. Le voltamètre est dans le même cas : si on fait l'expérience ci-dessus avec 4 voltamètres identiques, on reconnaît que les quantités d'hydrogène dégagées dans les voltamètres intermédiaires sont exactement la moitié de celles qui se dégagent dans les voltamètres extrêmes. On n'emploie pas cet appareil uniquement parce qu'il est encombrant et qu'il faut attendre souvent très longtemps afin d'avoir un volume de gaz suffisant pour en déduire une mesure suffisamment précise. La mesure par la boussole de sinus est au contraire presque instantanée.

passage de l'électricité. Cette notion un peu vague se précise déjà par l'analogie. Il est certain qu'à l'intérieur d'un canal qui fait communiquer deux réservoirs d'eau, il se produit des frottements de toute espèce qui retardent plus ou moins l'écoulement du liquide, et font varier la quantité d'eau qui passe dans une seconde à travers une section de ce canal. Il est certain que la longueur, la largeur du canal, la nature du liquide qui coule font varier cette quantité en faisant varier les frottements.

Il en est de même pour un courant électrique analogue au courant de liquide ; le canal ici c'est le circuit électrique extérieur à la pile ou intérieur; les frottements peuvent être représentés par ce qu'on nomme la *résistance* du circuit au passage du courant. Et il est clair que toute augmentation ou diminution de résistance doit avoir pour résultat une diminution ou augmentation de la quantité d'électricité qui passe en un point pendant une seconde, c'est-à-dire de l'intensité.

Il est facile de voir que la résistance d'un circuit dépend de sa *longueur*, de sa *section*, et de la *nature* des conducteurs solides ou liquides à l'extérieur ou à l'intérieur de la pile.

1° Pour le circuit extérieur, on prend un fil très fin, en fer par exemple, de 5 à 4 mètres de longueur, AB, et on le relie aux deux pôles d'un élément Bunsen ou Marié-Davy assez grand, par l'intermédiaire d'une boussole G. Celle-ci indique une certaine intensité.

Si on diminue la longueur AB, l'intensité augmente.

Si on augmente — l'intensité diminue.

Si on remplace AB par un fil de fer d'un diamètre plus grand, l'intensité augmente.

Enfin si on substitue à AB un fil de cuivre de même

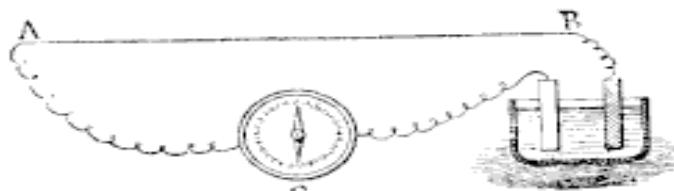


Fig. 75.

longueur et de même diamètre, l'intensité augmente.

2^e Pour le circuit intérieur, on prend un élément en forme d'auge contenant de l'eau ordinaire et 2 plaques

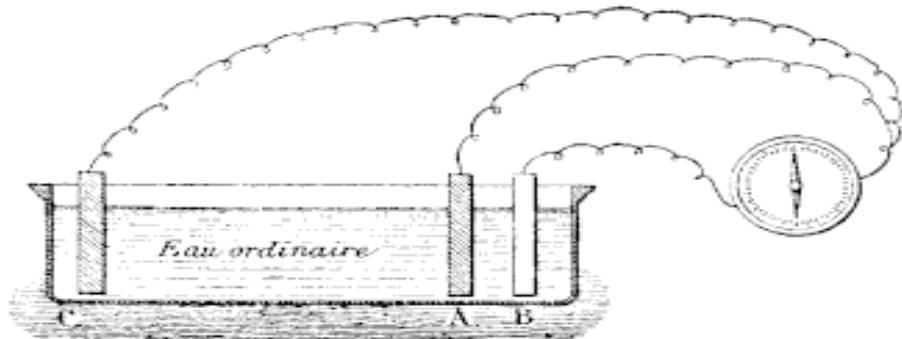


Fig. 76.

de zinc et de cuivre ayant à peu près la même largeur que l'auge. On les relie à un galvanomètre de Nobili.

À la distance AB des 2 électrodes on a une certaine déviation. Mais si on recule peu à peu le cuivre de A en C, on voit la déviation diminuer graduellement, la *longueur* du conducteur liquide et par suite sa résistance ayant augmenté.

Si, sans changer les électrodes de place, on augmente ou on diminue la hauteur du liquide dans l'auge, la *section* du conducteur liquide varie et on voit la déviation varier dans le même sens.

Lois de Ohm ou de Pouillet. — Les lois exactes suivant lesquelles varie la résistance d'un conducteur ont été trouvées : en Allemagne, mathématiquement, par Ohm ; en France, expérimentalement, par Pouillet. Elles consistent en ce que :

I. La résistance électrique d'un conducteur est proportionnelle à sa longueur.

C'est-à-dire que si cette longueur devient 2, 5, 4... fois plus grande ou plus petite, la résistance devient ce même nombre de fois plus grande ou plus petite.

II. La résistance d'un conducteur est en raison inverse de sa section.

C'est-à-dire que si la section devient 2, 5, 4... fois plus grande ou plus petite, la résistance devient ce même nombre de fois *plus petite* ou *plus grande* (c'est l'*inverse* de la *proportionnalité*).

III. La résistance d'un conducteur dépend de sa nature. Ainsi la résistance des principaux métaux va en croissant dans l'ordre suivant :

Argent, cuivre, or, zinc, platine, fer, mercure... Le fer est environ 7 fois plus résistant que le cuivre.

Quant aux liquides, leur résistance est beaucoup plus considérable. Ainsi une colonne de sulfate de cuivre en dissolution de même longueur et de même section qu'un fil de cuivre est environ 500 000 fois plus résistante que lui. La résistance de l'eau distillée est plusieurs centaines de fois plus grande que celle du sulfate de cuivre.

Ces énormes résistances n'existent pas dans les liquides de nos piles, parce que le *conducteur liquide* qu'ils y forment a la section des lames de zinc et de cuivre qui y sont plongées, section très considérable par rapport à celle des fils conducteurs extérieurs ; il en résulte, ainsi qu'on le verra plus loin, que la résistance des éléments ordinaires de nos piles est beaucoup plus faible qu'on ne pourrait se l'imaginer au premier abord à la vue des nombres que nous venons de citer.

Tout ce que nous venons de dire de la résistance s'applique *en sens inverse* à la *conductibilité* des conducteurs, propriété inverse de la résistance.

Unités de résistance. — Pour comparer entre elles les résistances des divers conducteurs, il faut un terme de comparaison, une unité qui soit aux résistances ce que le mètre est aux longueurs, le gramme aux poids... etc.

Unité Pouillet ou Siemens. — Pouillet a d'abord proposé de prendre pour unité la résistance d'une colonne de mercure pur de un mètre de long et de un millimètre carré de section. Cette unité a été adoptée et elle est en

core usitée sous le nom de *unité Siemens*, du nom de l'électricien qui l'a vulgarisée.

Unité en fil télégraphique. — Une autre unité plus *télégraphique* en quelque sorte, mais évidemment moins précise, est la résistance de un kilomètre de fil de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre, fil très employé pour la construction des lignes télégraphiques aériennes. Cette unité est très usitée encore actuellement en France.

Unité britannique. — Enfin l'Association britannique pour l'avancement des sciences a proposé un système complet d'unités électriques déterminées par des considérations qui ne peuvent trouver place ici. L'unité de résistance, dans ce système, nommée un *ohm*, est à très peu près égale à l'unité Pouillet ou Siemens¹. Elle équivaut à peu près à la résistance de 100 mètres de fil de fer de 4 millimètres : 1 kilomètre de ce fil vaut donc 10 ohms ou 10 unités Siemens.

Bobines et boîtes de résistances. — Quelle que soit l'unité adoptée, on construit des bobines de fil métallique recouvert de soie dont la résistance est égale à 1, 2, 40, 100... jusqu'à 10 000 unités. On prend pour fil de ces bobines du fil de *maillechort*, alliage de 50 parties de cuivre, 25 de zinc et 25 de nickel et dont la résistance varie très peu avec la température.

On dispose habituellement un certain nombre de ces bobines dans des boîtes de la façon indiquée par la figure : *a*, *a*... sont d'épaisses lames en laiton dont la résistance peut être regardée comme nulle; *b*, *b*... sont des fiches en laiton dont la tête est en bois; sur le couvercle de la boîte on inscrit au-dessus de chaque bobine un chiffre indiquant le nombre d'unités de résistance correspondant. La manœuvre de cet appareil est extrêmement simple. On l'introduit par les extrémités *A* et *B* des bobines extrêmes dans un circuit. Si toutes les fiches

1. Un ohm vaut en réalité 1,046 unités Siemens.

sont enfouées, le courant passe de A en B à travers les plaques *a* qui ne lui offrent pas de résistance sensible; mais si on enlève une fiche quelconque, la bobine cor-

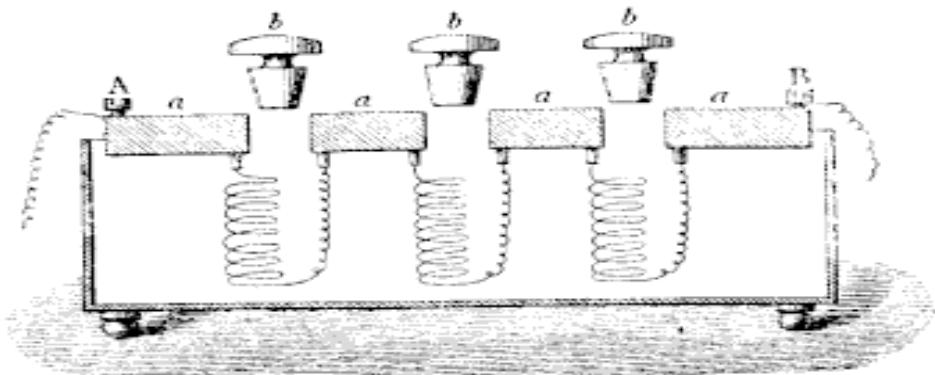


Fig. 77.

respondante est introduite par cela même dans le circuit, dont la résistance se trouve ainsi augmentée de celle de la bobine.

Ces boîtes sont extrêmement commodes et indispensables pour les essais qu'on a à faire pour la construction et l'entretien des lignes télégraphiques de toute nature.

Les lois suivant lesquelles varie la résistance d'un conducteur étant connues, nous pouvons maintenant indiquer celles qui régissent l'intensité d'un courant.

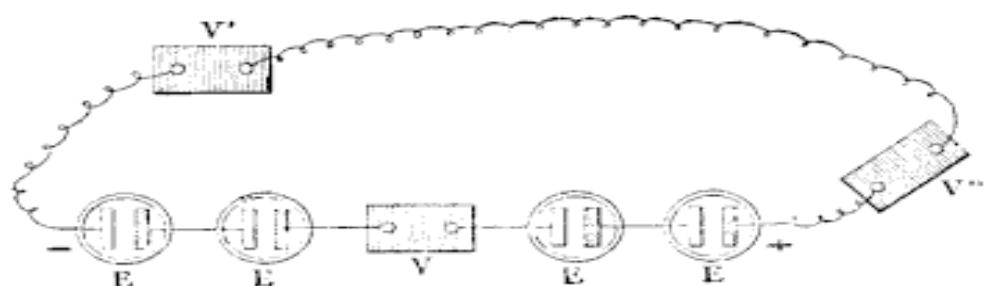


Fig. 78.

Lois suivant lesquelles varie l'intensité d'un courant. — Ces lois sont au nombre de trois.

Première loi. — *L'intensité d'un courant est la même*

en tous les points du circuit extérieur et intérieur d'une pile.

Pour le démontrer, on place des voltamètres identiques V, V... en divers points d'un circuit extérieur quelconque, et même entre deux éléments de la pile; on voit que la quantité des gaz dégagés dans les voltamètres est la même partout. Or ces quantités de gaz sont proportionnelles aux quantités d'électricité qui traversent les voltamètres dans l'unité de temps, et par suite aux intensités du courant. (Voir la note de la page 116.)

Deuxième loi. — *L'intensité d'un courant est en raison inverse de la résistance totale du circuit.*

On entend par résistance *totale*, la somme de la résistance R du circuit extérieur et de la résistance r de la pile; nous l'exprimerons habituellement par la formule R+r,

(On a déjà vu ce que signifie l'expression : *en raison inverse.*)

Cette loi est assez difficile à vérifier. On peut y arriver

cependant en prenant un élément zinc-cuivre-eau acidulée, en forme d'auge, et en mettant dans le circuit extérieur seulement un galvanomètre et une boîte de résistances B. Pour une résistance de 20 unités par exemple et une dis-

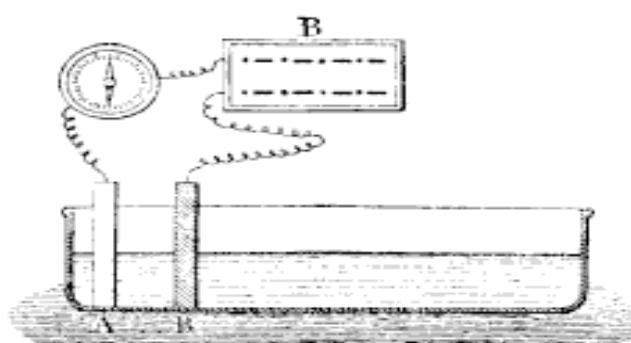


Fig. 79.

tance AB des électrodes, on a une certaine intensité. Si on établit alors une résistance 5 fois plus grande, par exemple à l'aide de la boîte, et si on donne à AB une valeur 5 fois plus grande, la résistance *totale* du circuit a été rendue ainsi 5 fois plus grande et aucune autre chose n'a varié. Or on voit alors que l'intensité devient 5 fois plus petite, ce qui vérifie la loi.

Troisième loi. — *L'intensité d'un courant est proportionnelle à la différence de tension aux pôles de la pile, lorsque la résistance totale du circuit ne change pas.*

On a déjà dit que la différence de tension aux pôles d'une pile est proportionnelle au nombre des éléments accouplés en tension (page 72). Il suffit donc de vérifier si l'intensité d'un courant dans un circuit dont la résistance *totale* ne change pas est proportionnelle au *nombre* des éléments de la pile accouplés en tension.

Il est facile de ne pas changer la résistance R du circuit extérieur ; mais en augmentant le nombre des éléments de pile, on change par cela même la résistance intérieure r , et par suite la résistance totale $R+r$. On peut néanmoins se placer très approximativement dans les conditions de l'énoncé de la loi, en prenant un circuit extérieur d'une résistance si grande que celle de plusieurs éléments de pile soit absolument négligeable par rapport à elle, et que, par suite, la résistance totale $R+r$ reste très sensiblement la même. Par exemple on peut prendre un circuit extérieur de 4 ou 5 mille unités de résistance, et 4 ou 5 éléments Bunsen ou Marié-Davy dont la résistance individuelle ne dépasse pas 5 ou 6 unités (Voir page 251).

Dans ces conditions, on voit à l'aide d'une boussole de sinus, ou d'un galvanomètre de Nobili, si la boussole n'est pas assez sensible, que l'intensité du courant devient 2, 3, 4... fois plus grande si on prend 2, 3, 4... éléments.

Ces trois lois extrêmement importantes peuvent être réunies dans l'énoncé abréviatif suivant :

L'intensité d'un courant est la même en tous les points du circuit ; elle peut être représentée par le quotient de la différence de tension aux pôles de la pile divisée par la résistance totale du circuit.

En désignant par D la différence de tension ou de po-

tentiel, la valeur de l'intensité se représente donc par la formule : $\frac{D}{R+r}$.

Nous avons déjà dit qu'on appelait *force électromotrice* d'un élément de pile la cause inconnue qui produit l'électrisation du zinc et du liquide qui l'attaque, et la différence de tension qui en résulte. On confond habituellement la cause avec son effet qui lui est proportionnel et on emploie comme synonymes les deux expressions : *force électromotrice* et *différence de tension*².

On appelle force électromotrice d'une pile la somme des forces électromotrices de ses éléments ; on la représente ordinairement par la lettre E et on écrit la formule précédente $\frac{E}{R+r}$. Sous la réserve de ces explications, on peut considérer les deux formules comme équivalentes.

Unité de force électromotrice ou de différence de tension. — On a vu, plus haut, que $R+r$ pouvait s'exprimer par un certain nombre d'unités de résistance. Il a fallu également choisir une unité de force électromotrice ou de différence de tension. L'unité proposée par l'Association britannique est équivalente à la force électromotrice ou différence de tension aux 2 pôles d'un élément Daniell dont le sulfate de cuivre est remplacé par

1. On sait en effet que le quotient d'une division peut toujours être représenté par une fraction dont le numérateur est le dividende et le dénominateur le diviseur. On sait aussi que la valeur d'une fraction est *proportionnelle* à la grandeur de son numérateur (D) et *en raison inverse* de son dénominateur (R+r), car si par exemple le numérateur devient 10 fois plus grand la fraction devient 10 fois plus grande, tandis que si le dénominateur devient 10 fois plus grand elle devient 10 fois plus petite.

2. L'expression *différence de tension* est préférable parce qu'elle représente une chose visible, saisissable, directement mesurable avec des instruments spéciaux ; d'ailleurs ce qu'on appelle *force électromotrice* produit d'autres effets qu'une différence de tension : c'est donc une expression plus générale, moins précise, et sujette à confusion.

de l'azotate de cuivre et dont l'eau acidulée contient une partie d'acide sulfurique pour 12 parties d'eau.

En adoptant cette unité, la force électromotrice ou la différence de tension d'un élément Daniell ou Callaud ordinaires est égale à 0,978
 celle d'un élément Leclanché 1,581
 celle d'un Marié-Davy 1,524
 celle d'un élément Bunsen. 1,964

On voit que, dans la pratique, on peut prendre la différence de tension d'un élément Daniell ou Callaud ordinaires comme unité.

Influence de la disposition particulière des éléments et de leur accouplement sur l'intensité. — Nous pouvons maintenant étudier ce que devient l'intensité d'un courant, suivant la forme de l'élément de pile qui le produit et suivant le mode de groupement des éléments qu'on veut adopter.

Influence de la disposition particulière des éléments. — On peut dans un élément de pile faire varier :
 1^o La nature des substances en action;
 2^o La surface du zinc attaqué, ou, plus généralement, des électrodes;
 3^o Leur distance.

Dans le 1^{er} cas, on obtient pour l'intensité des résultats variables, parce que la différence de tension D et la résistance de l'élément r changent à la fois : on ne peut rien dire de général à ce sujet. On trouvera plus loin des nombres relatifs aux éléments Daniell, Marié-Davy et Bunsen comparés.

Dans le second cas, si on augmente ou si on diminue la surface des électrodes, on augmente ou on diminue la section du conducteur liquide formé par l'élément ; par suite on diminue ou on augmente sa résistance et il en résulte une variation inverse de l'intensité.

Dans le troisième cas, la section de ce conducteur

liquide reste la même, mais sa longueur varie par suite de la variation de distance; il en est de même de sa résistance et de l'intensité qui augmente quand on rapproche les électrodes, et diminue quand on les éloigne.

On démontre aisément ces deux derniers points de la

manière suivante: On place deux plaques de zinc et de cuivre à une faible distance AB dans un vase assez long et on les réunit par l'intermédiaire d'un galvanomètre de Nobili, G. On verse une hauteur de un centimètre d'eau ordinaire ou même distillée dans le vase: il en résulte un courant dont l'intensité peut s'évaluer par la déviation de l'aiguille du galvanomètre. Si on continue à verser de l'eau, on

augmente la surface mouillée des électrodes, et la déviation augmente graduellement, jusqu'à ce que le niveau soit en CD par exemple. Puis si on éloigne l'électrode cuivre jusqu'en E, on voit la déviation diminuer, conformément du reste à une observation déjà faite précédemment¹.

Il résulte de ces observations que parmi les éléments de pile de même nature, ceux qui donnent *dans un même circuit* l'intensité de courant la plus grande sont les éléments dont les zincs ont une grande surface, et où les deux pôles sont aussi rapprochés que possible.

Influence du mode de groupement des éléments.

1. — *Accouplement en tension.* — On a vu (page 72)

1. Cette expérience est très simple et très concluante; il est très facile d'en montrer les résultats à un grand nombre de personnes en se servant du galvanomètre de Nobili à miroir, il en est de même de toutes les expériences indiquées relatives à la résistance des conducteurs et à l'intensité des courants.

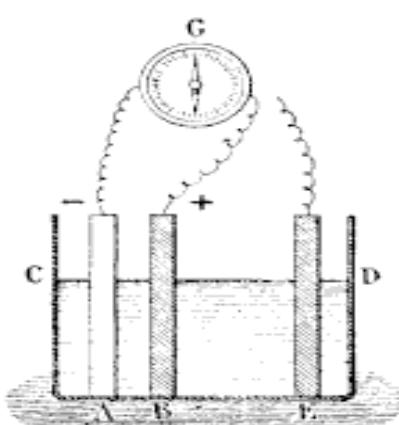


Fig. 80.

que ce mode de groupement consiste à réunir le cuivre d'un élément au zinc du suivant, et qu'il en résultait aux deux extrémités une différence de tension égale à celle d'un élément multiplié par le nombre de ces éléments : il en résulte que dans le quotient $\frac{D}{R+r}$ qui représente l'intensité, D devient 5 fois plus grand par exemple, en supposant 5 éléments accouplés : par ce fait l'intensité doit augmenter. Mais d'autre part, la résistance de la pile r est devenue 5 fois plus grande ; la résistance totale $R+r$ a donc augmenté et, par ce fait, l'intensité du courant doit diminuer. Il semble donc qu'on ne peut savoir au juste ce que devient l'intensité ; mais il faut remarquer que l'augmentation due à la variation de D est plus grande que la diminution due à la variation de $R+r$: donc, en définitive, l'intensité doit augmenter par suite du groupement en tension.

Précisons cette indication en examinant 2 cas particuliers extrêmes.

1^{er} Cas. — Supposons la résistance extérieure R si petite qu'elle soit négligeable par rapport à la résistance d'un élément de pile.

Cela revient à supprimer R dans la formule de l'intensité, et à l'écrire : $\frac{D}{r}$. Or on voit alors que si on prend 5 éléments en tension, D devient 5 fois plus grand ; mais, r devient aussi 5 fois plus grand : donc la valeur du quotient, c'est-à-dire l'intensité du courant ne doit pas changer.

Pour réaliser ce cas, on prend pour tout circuit extérieur le fil d'un galvanomètre de Nobili et des éléments de pile analogues à ceux dont on vient de parler tout à l'heure, formés de lames étroites de zinc et de cuivre *assez éloignées*, et plongeant dans une *mince couche* d'eau distillée. Ces éléments ont une résistance beaucoup plus considérable que les quelques tours du fil de cuivre

qui recouvrent le cadre d'un galvanomètre de Nobili *ordinaire*¹. Dans ces conditions on a beau accoupler

successivement plusieurs éléments, la déviation du galvanomètre ne change pas.

2^e Cas. — La résistance r de la pile est négligeable par rapport à la résistance R du circuit extérieur.

Cela revient à suppri-

mer r dans la formule de l'intensité et à l'écrire : $\frac{D}{R}$. On

voit alors que si on accouple 2, 5, 4... éléments en ten-

sion, R ne changeant pas, D devient 2, 5, 4... fois plus

grand et il en est de

même de l'intensité.

On réalise ce cas en intercalant dans le circuit extérieur, avec le galvanomètre, une caisse C de résistances de manière à donner à R une valeur de 4 à 5000 unités. On prend de grands éléments de pile à grande surface de zinc, des Bunsen ou des Marié-Davy, dont la résis-

tance varie de 4 à 6 unités seulement. On voit alors, en faisant l'expérience, la déviation du galvanomètre croître

1. On fait des galvanomètres de Nobili avec des nombres de tours de fil sur le cadre très variables, depuis 7 ou 8 tours jusqu'à plus de 20 000 et dont la résistance varie en conséquence : nous ne parlons ici que d'un galvanomètre à très faible résistance, qui suffit pour les expériences indiquées.

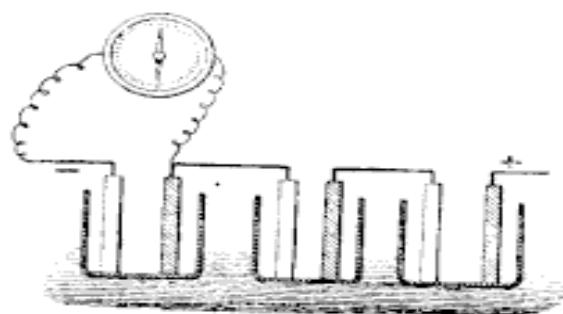


Fig. 81.

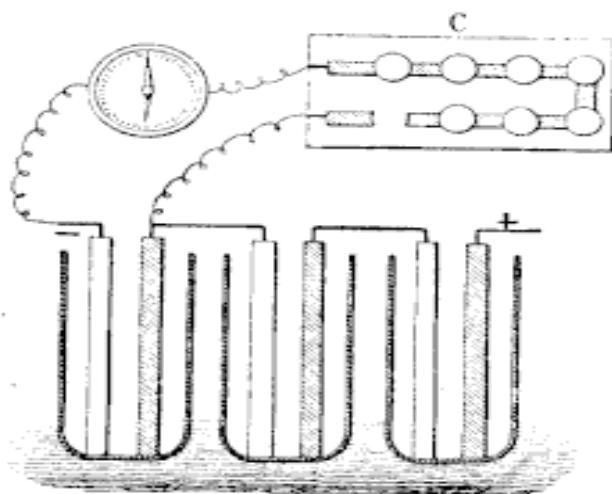


Fig. 82.

proportionnellement au nombre des éléments accouplés successivement en tension.

II. — *Accouplement en surface ou en quantité.*

Ce mode de groupement consiste à réunir les zincs entre eux et les cuivres aussi (page 75). Il en résulte une diminution de résistance proportionnelle au nombre des éléments accouplés ; mais la différence de tension ne change pas. L'intensité doit donc généralement augmenter par ce mode d'accouplement comme dans le précédent.

Examinons les 2 cas particuliers précédents.

Dans le premier cas, où la résistance est négligeable par rapport à celle d'un élément de la pile et où la formule de l'intensité doit être réduite à $\frac{D}{r}$, on voit que, D ne changeant pas et r devenant par exemple 5 fois plus petite, s'il y a 5 éléments accouplés en surface l'intensité devient 5 fois plus grande. L'intensité croît donc proportionnellement au nombre des éléments.

C'est ce qu'on démontre nettement avec une disposition d'expérience semblable à celle qu'indique la figure (81) ci-dessus, mais en groupant les éléments en surface et non en tension.

Dans le second cas, où la résistance r de la pile est négligeable par rapport à celle du circuit extérieur et où la formule de l'intensité peut être réduite à $\frac{D}{R}$, on voit que, ni D ni R ne changeant par suite de l'accouplement des éléments en surface, l'intensité du courant ne doit pas changer avec le nombre des éléments.

C'est ce que prouve une expérience semblable à celle qui correspond à la figure (82) ci-dessus, mais où les éléments sont groupés en surface.

De toute cette discussion un peu longue mais très importante, on peut déduire, comme conclusion pratique, quelle est la meilleure disposition à adopter quand on a

un certain nombre d'éléments de pile à sa disposition.

1^o Si la résistance du circuit extérieur est très considérable, il sera avantageux de grouper les éléments en tension. C'est le cas ordinaire en télégraphie et nous avons ainsi justifié le mode de groupement qu'on y emploie.

2^o Si la résistance du circuit extérieur est très faible, il sera avantageux au contraire d'accoupler les éléments en surface. Ce cas se présente quelquefois en télégraphie quand on a à faire marcher à l'aide d'un courant un appareil situé dans le local même où se trouve la pile, et dans un circuit qui se réduit à une ou deux bobines de fil de cuivre de faible résistance. (C'est ce qu'on appelle, en langage technique, *faire travailler une pile dans un circuit local*, ou, en abrégant beaucoup, *travailler en local*).

Les groupements d'éléments en tension ou en surface ne sont pas les seuls qu'on puisse employer : on conçoit qu'il y a des groupements mixtes ; mais ils se ramènent toujours aux deux précédents, et on pourra toujours, d'après les principes posés ci-dessus, connaître l'effet définitif qu'ils produisent au point de vue de l'intensité¹.

Pour compléter ces notions sur la résistance des conducteurs et l'intensité des courants, voici un tableau renfermant les résistances et les différences de tension ou forces électromotrices des éléments des piles que nous

1. On peut d'ailleurs, pour faire ces calculs, mettre en évidence dans la formule de l'intensité, le *nombre n* des éléments de la pile, la différence de potentiel *d* aux pôles d'un élément, sa résistance *r'*. Il suffit de se rappeler que si on prend *n* éléments en tension $D=n \times d$ et $r=n \times r'$; tandis que si on prend *n* éléments en surface, $D=d$ et $r=\frac{r'}{n}$.

Dans le premier cas on a : $I = \frac{n \times d}{R + n \times r'}$. Dans le second cas $I = \frac{d}{R + \frac{r'}{n}}$ ou bien $I = \frac{n \times d}{n \times R + r'}$.

avons vues. (Les résistances sont données en mètres de fils de fer de 4^{mm} et en unités Siemens ou en unités de l'Association britannique.)

ÉLÉMENS.	HAUTEUR DES ZINCS.	RÉSISTANCE APPROXIMATIVE.	DIFFÉRENCE DE TENSION OU FORCE ÉLECTROMO- TRICE.
Daniell.	12 ^{mm}	10000 th ou 10 unités	1
Callaud.	"	—	1
Leclanché.	12 ^{mm} environ	—	1,58
	12	400 4 —	1,52
Marié-Davy	8	600 9 —	1,52
Bunsen.	12	2 à 500 th 2 à 5 —	1,90

On peut d'après ce tableau comparer les éléments au point de vue de l'intensité du courant qu'ils produiraient dans un circuit extérieur R de résistance négligeable, par exemple en réunissant les pôles par une large plaque de cuivre. Cette intensité est représentée par $\frac{D}{r}$, et on a alors :

$$\begin{aligned}
 \text{Pour l'intensité d'un Daniell ou d'un Callaud. } & \frac{1}{10} \text{ ou } 0,10 \\
 \text{— d'un Leclanché (petit modèle). } & \frac{1,58}{10} \text{ ou } 0,14 \\
 \text{— d'un Marié-Davy de } 12^{\text{mm}}. . . . & \frac{1,52}{3} \text{ ou } 0,58 \\
 \text{— d'un Bunsen} & \frac{1,90}{5} \text{ ou } 0,65.
 \end{aligned}$$

Ces nombres 0,10; 0,14; 0,58; 0,65 ou, ce qui revient au même, 10,14,58,65, représentent bien la valeur relative des éléments correspondants au point de vue de leur énergie électrique en quelque sorte complète. Mais au point de vue restreint de la télégraphie, où la résistance des éléments est ordinairement négligeable

par rapport à celle du circuit extérieur, et où la chose principale à considérer est, par suite, la différence de tension aux pôles de la pile, ce sont les nombres 1 ; 1,58 ; 1,52 ; 1,90 qui représentent la valeur relative des éléments en ce qui concerne le *travail télégraphique* qu'ils peuvent fournir. Il en résulte, ce que l'expérience vérifie très bien, que 20 éléments Marié-Davy peuvent effectuer le même travail télégraphique que 50 Daniell ou Callaud.

Les principes qui précèdent sont fondamentaux en électricité et en télégraphie. Nous aurons bientôt l'occasion de les appliquer à quelques questions pratiques ; voici, en attendant, un exemple très simple de cette application :

Nous avons indiqué (page 407) qu'on ne pouvait pas augmenter indéfiniment le nombre de tours de fil sur le cadre d'un galvanomètre ; nous pouvons maintenant en donner la raison. Un tour de fil ajouté agit sur l'aiguille du galvanomètre en deux sens opposés : 1^o il augmente la longueur du circuit et par suite la résistance, d'où résulte une diminution de l'intensité du courant ainsi que de la déviation ; 2^o il ajoute son action déviatrice à celle des autres tours et augmente la déviation. La diminution de déviation due à la 1^{re} cause reste toujours la même, quel que soit le tour du fil qu'on considère ; mais l'augmentation de déviation due à la 2^o cause, d'abord supérieure à la diminution provenant de la 1^{re}, devient de moins en moins grande à mesure que la *distance* du fil à l'aiguille aimantée *croît*. Il doit donc nécessairement arriver un moment où les deux effets contraires sont égaux. Si, à partir de ce moment, on continuait à ajouter des tours de fil, le second effet serait inférieur au premier, et au lieu d'augmenter la déviation, on la diminuerait.

Mais tout ceci suppose que les tours de fil successivement ajoutés sont identiques : si à mesure que ces tours

s'éloignent de plus en plus on leur donne une section croissante et si, par suite, en même temps que leur action déviatrice diminue on diminue aussi leur résistance, on peut concevoir qu'on puisse établir ainsi une compensation telle qu'en définitive l'action déviatrice de chaque tour reste la même. En pratique on ne peut songer à obtenir une compensation rigoureuse; mais pour utiliser le mieux possible, à ce point de vue, l'espace qui doit être rempli par la bobine d'un galvanomètre, on forme les premiers tours avec du fil très fin et on augmente ensuite le diamètre. Enfin dans les galvanomètres très sensibles comme ceux qui servent à la transmission et aux mesures électriques sur les câbles (Voir page 114 la forme générale du galvanomètre de M. Thomson), M. W. Thomson a calculé la forme à donner à la bobine afin que les spires du fil occupent les positions pour lesquelles leur action sur l'aimant situé à leur centre est

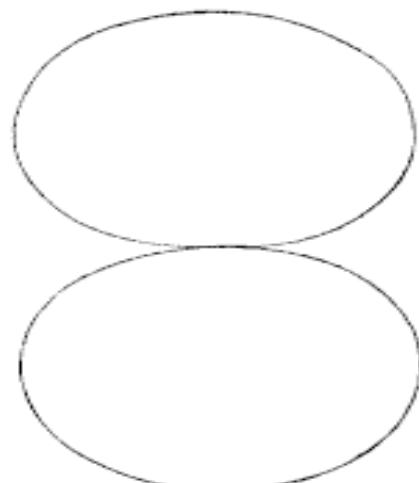


Fig. 83.

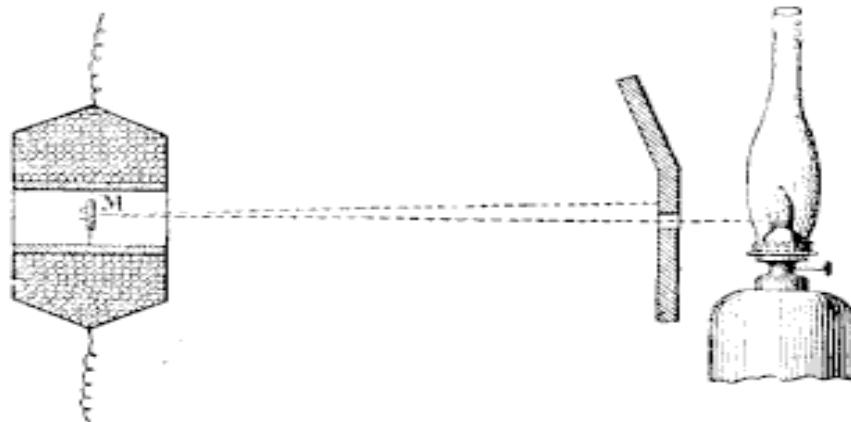


Fig. 84.

maximum. Il a déterminé ainsi, pour la forme théorique à donner à la coupe de la bobine suivant l'axe, la figure

(85) ci-contre, qui doit être nécessairement modifiée dans la pratique et qui devient semblable à la figure (84). D'ailleurs on recouvre les spires du fil de paraffine pour les isoler parfaitement et on plonge la bobine couche par couche dans un bain de paraffine fondu. La figure indique en coupe le miroir M , ainsi que la lampe et l'échelle divisée E , accessoires du galvanomètre.

On obtient ainsi des appareils excellents et dont les propriétés réalisent autant que possible les prévisions de la théorie.

NOTIONS SUR LES COURANTS D'INDUCTION

Pour terminer ce que nous avons à dire sur les courants, nous donnerons quelques notions sur une catégorie de courants instantanés très remarquables, découverts en 1831 par Faraday, et dont l'existence se manifeste clairement sur les lignes et dans les appareils télégraphiques.

Induction par les courants. — 1. *Lorsqu'un circuit, parcouru par un courant, est mis en mouvement dans le voisinage d'un autre circuit, il se produit dans celui-ci un courant instantané qui est de même sens que le premier ou direct, si le mouvement éloigne les deux circuits, de sens contraire ou inverse, si les circuits se rapprochent.*

Faraday a nommé le premier courant *courant induc-
teur*, et le second *courant induit*.

L'expérience destinée à mettre ce fait en évidence serait difficile à faire avec des circuits rectilignes, à cause de la faiblesse des courants *induits*, ainsi produits sur de petites longueurs de fils. On tourne la difficulté par un artifice qui consiste à enrouler une grande longueur de fil dans le même sens sur des bobines, ce qui

permet de produire, dans chaque spirale du fil des courants induits de même sens qui s'ajoutent.

On peut alors disposer l'expérience comme l'indique la figure 85, en enfonçant l'une des bobines dans l'autre.

En constatant d'abord le sens du courant de la pile passant directement à travers la bobine inductrice A, on

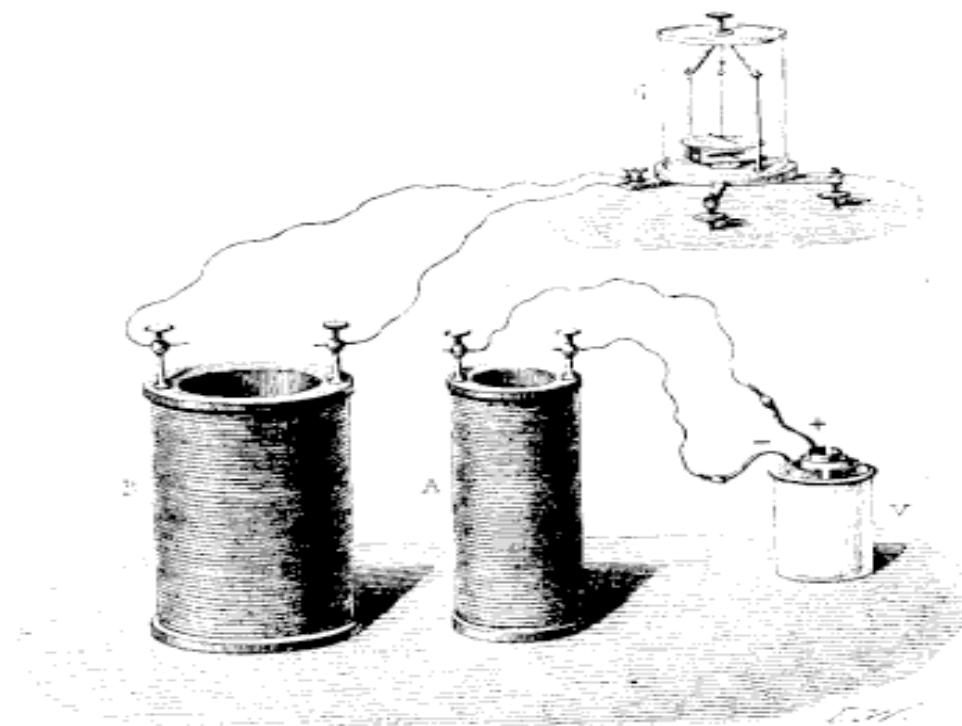


Fig. 85.

voit que les courants instantanés produits ensuite dans B par l'approche ou l'éloignement de la bobine inductrice A ont bien le sens indiqué par l'énoncé de la loi ci-dessus.

On obtient les mêmes résultats par les mouvements de la bobine induite, la bobine inductrice restant fixe.

Le courant induit provient bien du *mouvement* de l'électricité qui passe dans le circuit inducteur, car, le mouvement opéré, l'aiguille du galvanomètre revient immédiatement au zéro de sa graduation, quoique le courant continue à passer dans le circuit inducteur.

Au lieu de donner un mouvement continu au courant inducteur, on peut lui donner une série de petits mouvements successifs très courts dans le même sens : on voit alors l'aiguille du galvanomètre dans le circuit induit se mouvoir comme si elle recevait une série de petites impulsions, et on peut considérer la déviation totale de l'aiguille, comme la somme des déviations successivement accumulées par les petits mouvements de l'inducteur.

Il faut bien remarquer qu'en somme le courant induit est dû ici à la *variation de la distance* des points de l'inducteur aux points de l'induit.

II. *Un courant qui commence dans le voisinage d'un circuit, y détermine un courant induit instantané inverse ; un courant qui finit y détermine un courant direct.*

On le démontre aisément en faisant arriver l'un des bouts E de la bobine inductrice B dans un godet de mercure C, l'autre bout F étant relié au pôle d'une pile : l'extrémité D d'un fil aboutissant à l'autre pôle établit

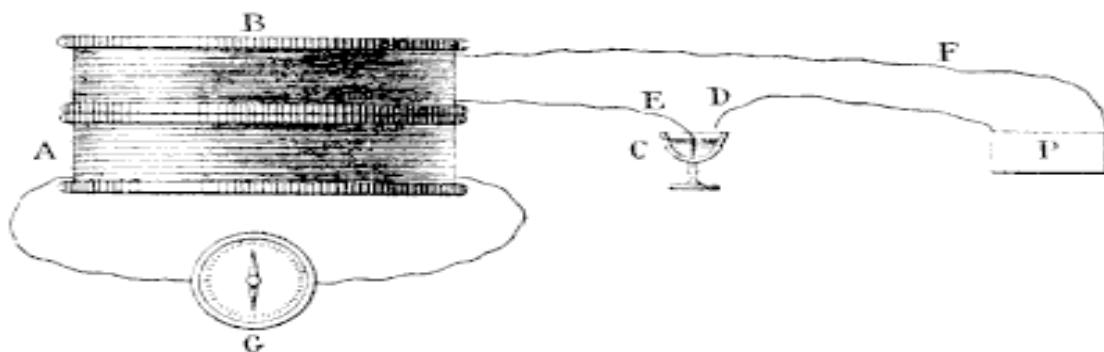


Fig. 86.

ou interrompt le courant, suivant qu'on la plonge dans le mercure ou qu'on l'en retire (fig. 86).

Induction électro-dynamique sur les lignes télégraphiques. — Ce phénomène se produit, en télégraphie, toutes les fois que deux lignes restent parallèles et rapprochées sur un assez long parcours. Sur les lignes aériennes, les courants induits produits dans un fil à

l'ouverture ou à la fermeture du courant dans un fil voisin sont très faibles à cause de la distance qui sépare ordinairement les fils de ces lignes : ils n'ont pas d'influence sensible sur la transmission. Mais quand des fils sont juxtaposés dans des câbles, quoiqu'ils soient séparés les uns des autres par un enduit isolant, les effets d'induction de la nature de ceux dont il est actuellement question deviennent sensibles, surtout si les câbles ont une grande longueur. C'est une des raisons qui font préférer, dans les câbles sous-marins, un conducteur unique à plusieurs conducteurs réunis dans une même enveloppe.

III. *Un courant qui augmente d'intensité détermine, dans un circuit voisin, un courant induit inverse : s'il diminue d'intensité, il produit un courant induit direct.*

Pour le démontrer, il suffit d'intercaler sur le fil F de la figure précédente un fil très résistant MN en fer ou en platine tendu entre deux points M, N. Un curseur R relié à l'un des pôles de la pile, permet, par son glissement sur MN, d'introduire dans le circuit inducteur B, une

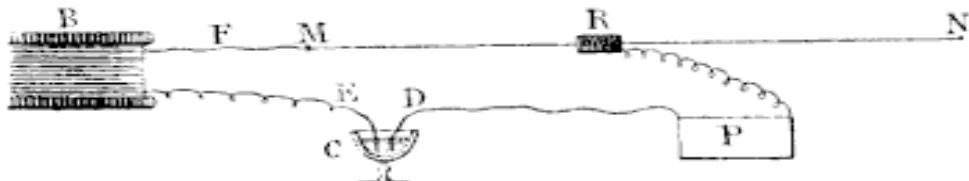


Fig. 87.

résistance variable, et, par suite, de faire varier rapidement l'intensité du courant (fig. 87).

On voit alors, en faisant glisser *vivement* le curseur R vers M ou N, le galvanomètre dévier dans le circuit induit dans deux sens différents conformes à la loi énoncée.

On peut considérer la loi précédente comme un cas particulier extrême de celle-ci, et les exprimer toutes deux en disant qu'une *variation d'intensité* d'un courant produit un courant induit dans un circuit voisin.

D'une manière générale, on voit que les trois lois que

nous venons d'énoncer sont reliées intimement les unes aux autres. En définitive, la production d'un courant induit dans un circuit fermé nécessite, dans les trois cas, la réalisation de deux conditions. La première est absolue ; c'est un *changement d'état électrique* dans le milieu qui entoure le circuit fermé induit : que ce changement provienne de l'introduction brusque dans le milieu d'un circuit traversé par un courant électrique, de la variation d'intensité d'un courant déjà existant, de la production ou de la rupture de ce courant, il y a toujours changement d'état électrique, mouvement électrique dans le voisinage du circuit induit.

La seconde condition est en quelque sorte relative : c'est que le changement d'état ou le mouvement électrique s'opère *rapidement*. Mais cette condition ne sert qu'à rendre le phénomène produit plus sensible.

On peut comprendre les trois cas précédents dans le même énoncé abréviatif suivant :

Un courant qui s'approche, commence ou augmente d'intensité dans le voisinage d'un circuit, y détermine un courant induit inverse ; un courant qui s'en éloigne, qui finit ou qui diminue d'intensité y détermine un courant induit direct.

Induction par les aimants. — Les aimants produisent sur un circuit le même effet que des bobines dont l'axe serait la ligne des pôles des aimants, et qui seraient traversées par un courant : d'où la loi suivante :

Un aimant qui s'approche, qui commence, ou qui augmente d'intensité dans le voisinage d'un circuit y détermine un courant induit : un aimant qui s'en éloigne, finit ou diminue d'intensité y détermine un courant induit inverse du précédent.

La figure (88) indique, en supposant le barreau de fer doux N enlevé, la disposition à adopter pour voir l'effet de l'approche ou de l'éloignement de l'aimant M de la bobine B.

Si on laisse le barreau de fer doux N à l'intérieur de la bobine B, en approchant vivement l'aimant M de N, ce barreau devient subitement un aimant : en éloignant

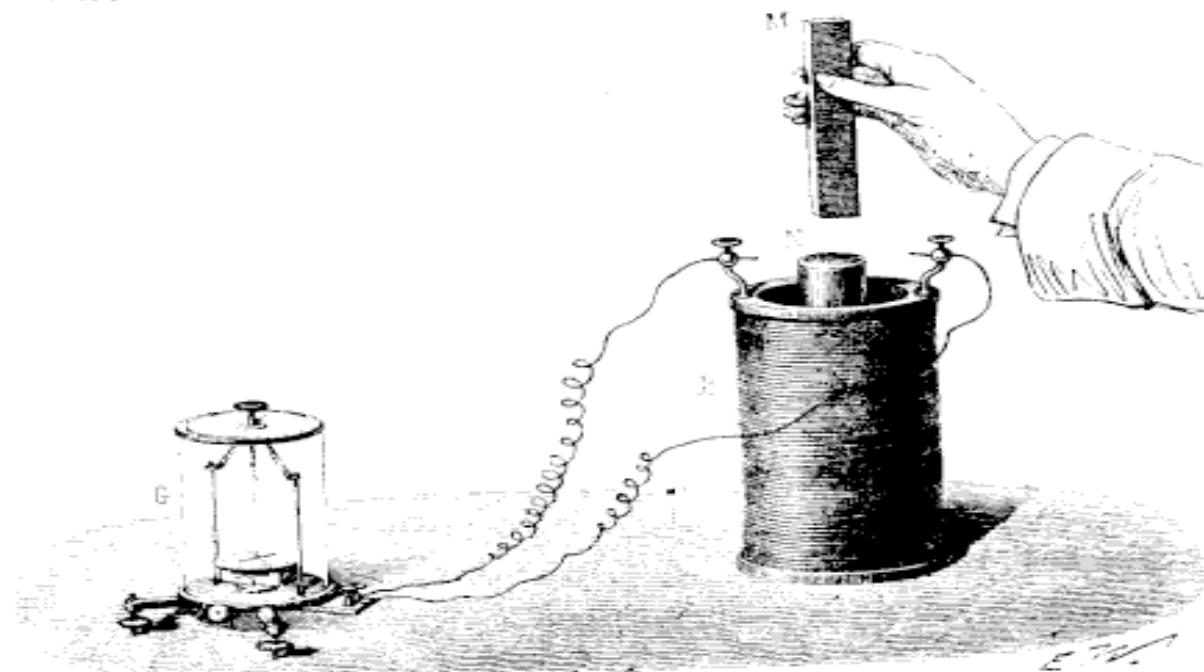


Fig. 88.

brusquement M, le barreau N perd subitement son aimantation ; c'est un aimant qui finit. Enfin, avec la disposition de la même figure, en approchant plus ou moins M de N, on réalise un aimant N dont l'intensité magnétique est variable.

On peut produire des courants induits d'une manière en quelque sorte inverse.

Supposons que N soit un aimant, au lieu d'être un barreau de fer doux, et que M soit un morceau de fer doux, barreau ou plaque plus ou moins épaisse. Toutes les fois qu'on approchera ou qu'on éloignera M de N, il se produira dans la bobine des courants induits. Nous verrons bientôt une application remarquable de cette propriété dans les téléphones.

Nous terminerons actuellement ces notions sur les cou-

140 LE COURANT ÉLECTRIQUE ET LA BOUSSOLE

rants induits par cette remarque importante que leur intensité dépend, entre autres choses, de l'intensité du courant ou de l'aimant inducteur, et de la distance à laquelle se produisent les mouvements relatifs des courants, des aimants et des circuits.

TROISIÈME SECTION

LE MANIPULATEUR

Actuellement nous avons étudié la Pile, la nature et les lois du courant qu'elle produit, la boussole ou Galvanomètre qui constate l'existence du courant et peut même en mesurer l'intensité. Il s'agit maintenant *d'utiliser* ce courant télégraphiquement, c'est-à-dire de façon à lui faire produire au loin des signaux représentant les lettres et les signes du langage ordinaire. C'est là le rôle du *manipulateur*.

Jusqu'à présent on n'a utilisé en télégraphie dans un courant que les effets qu'il peut produire par son émission, son interruption ou son changement de sens. On commence à utiliser ses variations d'intensité.

Les divers systèmes d'utilisation employés peuvent donc se réduire à cinq :

1^o On peut ne pas se préoccuper de la durée des émissions de courant et n'utiliser que le *nombre* des émissions (ou interruptions) successives.

Tel est le but du manipulateur à cadran de Bréguet.

2^o On peut utiliser à la fois le *nombre* des émissions de courant et leur *durée relative*.

Le manipulateur Morse est le type de ce système.

3^o On peut ne se préoccuper ni du nombre, ni de la durée des émissions de courant, mais bien de l'*intervalle*

de temps qui les sépare, chaque signal ou fragment de signal correspondant ainsi à des émissions dont la durée est indifférente mais qui se produisent à des *époques déterminées*.

Tel est le système du manipulateur Hughes, des manipulateurs autographiques Caselli, Meyer, etc.; nous décrirons seulement le premier.

4^o On peut combiner le *nombre* des émissions du courant avec son *changement de sens*.

C'est le système employé dans l'appareil à aiguilles de Wheatstone, et dans la manipulation sur les lignes sous-marines.

5^o Enfin on peut combiner le *nombre* des émissions avec leur *variation d'intensité*, c'est, par exemple, le système des microphones et des téléphones.

Premier système. — Manipulateur à cadran de Bréguet. — Il s'agit avec cet instrument de produire des émissions et interruptions successives de courant, de façon à représenter chaque lettre de l'alphabet par un certain *nombre* de ces émissions ou interruptions.

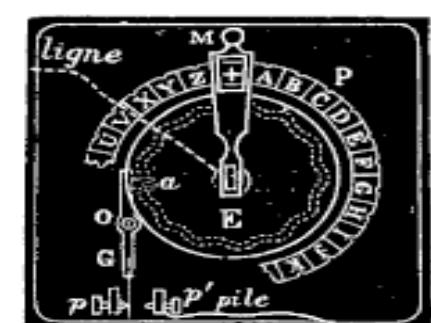


Fig. 89.

M est une manivelle mobile au tour d'un axe vertical: elle porte une dent qui peut entrer dans les crans d'un cadran en laiton E fixé par des colonnes sur une planchette.

A chacun des crans, au nombre de 26, correspondent une lettre de l'alphabet et un chiffre ou signe de ponctuation: le 26^{me} est un cran de repos marqué d'une croix: on doit toujours y placer la manivelle quand on ne manipule pas.

L'axe de la manivelle entraîne dans son mouvement une plaque circulaire portant gravée en creux une gorge ou rainure sinuuse présentant 15 sommets extérieurs et par suite 15 intérieurs.

Un galet *a* en acier engagé dans la rainure est fixé au bras *Oa* d'un levier mobile autour de l'axe *O* et dont un autre bras *OG* porte un ressort en acier oscillant entre 2 buttoirs, *p* et *p'*.

Quand la manivelle tourne, le galet glisse dans la rainure, le ressort oscille de *p* en *p'*, déterminant ainsi 26 contacts pour un tour entier.

Si donc on met l'un des boutons *p'* par exemple, en communication avec une pile, et la manivelle en communication avec une ligne télégraphique *L* ou *L'*, chaque fois que le galet sera dans un des sommets extérieurs, le ressort touchera *p'*, et un courant passera sur la ligne; quand le galet sera dans un sommet intérieur, il y aura contact en *p* et le courant ne passera pas. D'où la possibilité de produire, dans un tour entier de la manivelle, 15 émissions de courant alternant avec 15 interruptions.

On voit alors que si on fait passer la manivelle du cran de repos à la lettre *A* on aura produit une émission de courant; si on va à la lettre *B* on aura produit une émission suivie d'une interruption; à la lettre *C* correspondront une émission, une interruption et une seconde émission, et ainsi de suite. En résumé l'action de porter la manivelle sur une lettre du cadran correspondra à un certain *nombre* déterminé d'émissions et interruptions de courant dont la durée est d'ailleurs indifférente. C'est donc bien le résultat qu'on se proposait d'atteindre, obtenu par un procédé extrêmement simple.

Nous verrons plus tard (page 179) comment le récepteur transformera ce *nombre* d'émissions et interruptions alternatives de façon à reproduire la lettre ou le chiffre qui lui correspond sur le cadran du manipulateur.

Notons seulement que, à l'état de repos, lorsqu'on ne travaille pas, ou qu'on reçoit une dépêche, la manivelle étant au cran de repos, le galet *a* est dans un sommet intérieur, le ressort touche le butoir *p*, comme l'indique la figure; celui-ci étant toujours en communication avec

le récepteur, il en résulte qu'un courant arrivant de la ligne télégraphique peut traverser le manipulateur, le galet, le ressort, le récepteur et mettre celui-ci en mouvement. On peut donc ainsi recevoir des dépêches ; c'est

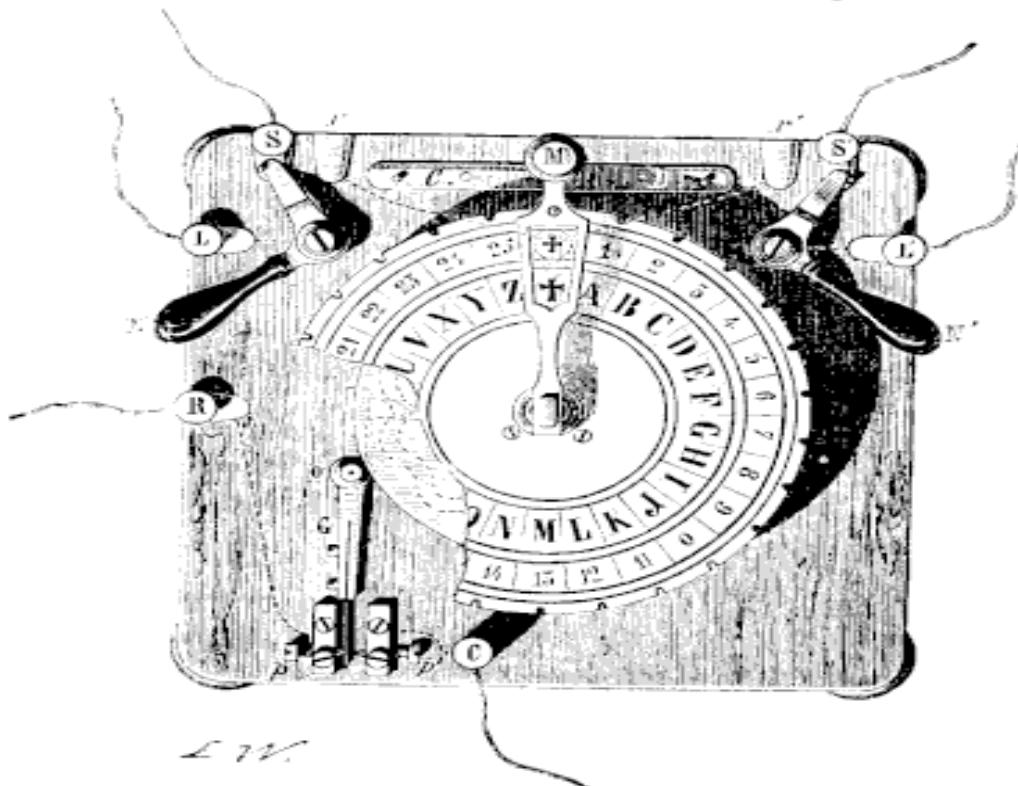


Fig. 89 bis.

pourquoi cette position de la manivelle se nomme position de repos ou *de réception*.

La figure 89 bis représente un manipulateur destiné à desservir 2 lignes L et L', et pouvant les relier, à l'état de repos, soit avec les récepteurs, soit avec des sonneries.

Deuxième système. — Manipulateur Morse. — Dans le système dont le manipulateur Morse est le type, on utilise pour produire un signal non seulement le *nombre* des émissions de courant, mais encore leur *durée relative*.

Le manipulateur est extrêmement simple. C'est un levier métallique K à poignée en bois P, mobile autour

d'un axe *S* fixé à un support métallique qui repose sur une planchette. Le levier porte : en avant, une pointe métallique *t* au-dessus d'une petite pièce métallique ou *contact b* ; en arrière, une vis *V* dont la pointe repose sur un autre contact *a* et qui est maintenue dans cette position par un ressort *r* qui soulève la partie antérieure du levier. L'ensemble du levier, de son axe et de son support métallique se nomme habituellement la *masse* du manipulateur.

Le contact *b* communique avec la pile ; le contact *a* avec le récepteur ; l'axe *S* et le support avec la ligne.

Si on abaisse la poignée de l'appareil, la communication en *a* est rompue, on l'établit en *b*, le courant passe dans la masse du manipulateur et sur la ligne, et cette émission de courant durera tant qu'on maintiendra le levier abaissé ; si on le relève le courant est interrompu. On a donc ainsi le moyen de produire un *nombre* quelconque d'émissions de courant et de leur donner la *durée* relative que l'on veut.

Dans la pratique on se contente de deux durées relatives : l'une assez courte, correspondant à un signal qu'on nomme *point*, l'autre deux ou trois fois plus longue produisant le signal nommé *trait*. Nous expliquerons plus tard la signification de ces mots ; nous verrons comment

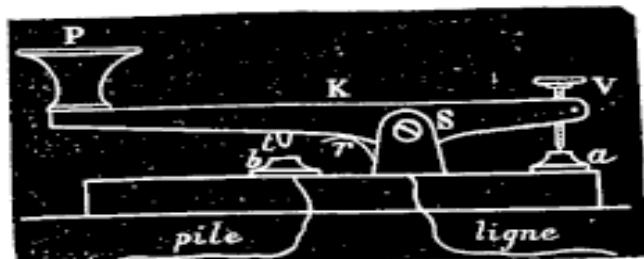


Fig. 90.

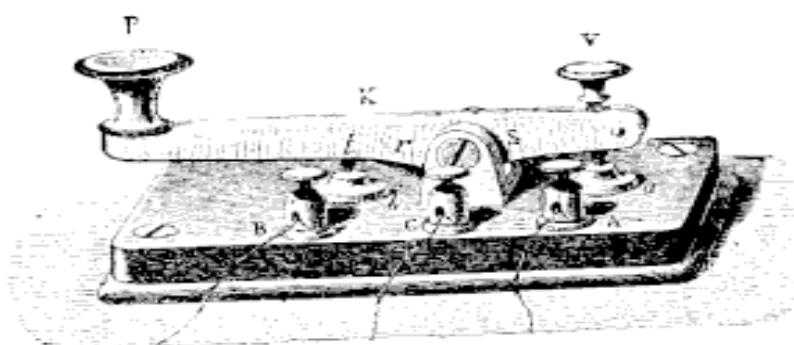


Fig. 90 bis.

un récepteur convenable transforme les émissions de courant en signaux et comment il suffit d'un *nombre* d'émissions de courant variable de 1 à 5, ayant soit la *durée* correspondant à un point, soit celle qui correspond à un trait, pour pouvoir satisfaire à tous les besoins de la correspondance télégraphique.

On voit d'ailleurs, que le manipulateur au repos est bien comme le manipulateur à cadran dans la position de *réception*, car un courant arrivant de la ligne télégraphique peut, après avoir traversé le manipulateur et le contact *a*, arriver au récepteur et le mettre en mouvement.

Troisième système. — Manipulateur Hughes. — Dans le manipulateur Hughes, on ne se préoccupe pas du *nombre* et de la *durée relative* des émissions de courant : chaque signal correspond à *une seule* émission ; mais les *intervalles qui séparent* les émissions ou signaux successifs ont une durée *déterminée* par la marche même de l'appareil.

Nous décrirons le manipulateur Hughes en le réduisant à ses parties essentielles.

E, est un arbre vertical mobile autour d'un axe formé par deux ressorts *D* et *F*.

a est un bras métallique articulé à la partie supérieure de *E*.

b est une tige métallique, appelée *goujon* munie d'un ressort de rappel *r*.

c est une plate-forme fixée à la partie inférieure de l'axe *E*, séparée de la partie supérieure par une plaque en ivoire *m*.

L, *L*..... sont des leviers métalliques mobiles autour d'axes *O*, mis par des touches *T* formant un clavier analogue à celui d'un piano : sur chacune des extrémités des leviers repose un goujon.

L'ensemble des pièces *a*, *c*, *d*, constitue ce qu'on nomme le *chariot*.

La pile est mise en communication avec les axes des leviers et par suite avec les goujons.

ABCD est une boîte cylindrique contenant les goujons;

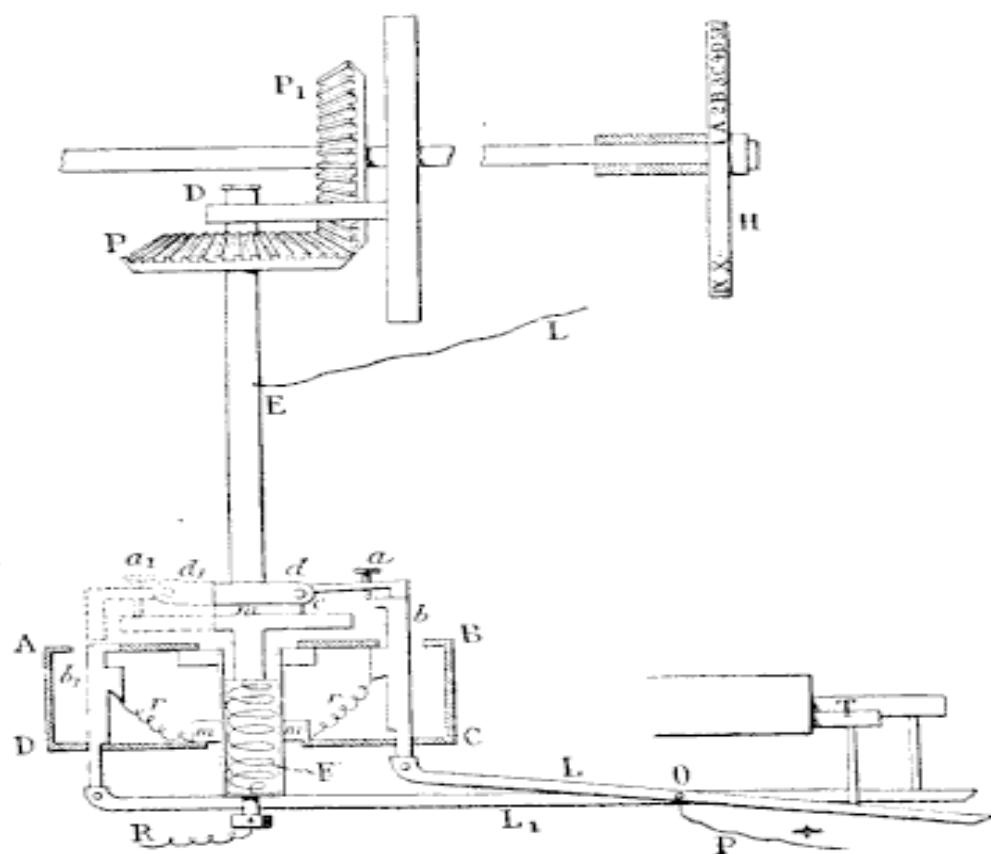


Fig. 91.

elle est *isolée* de l'axe E par des rondelles en ivoire m ; on l'appelle boîte à goujons.

La partie supérieure de l'axe E communique avec la ligne télégraphique L; la partie inférieure avec la terre T.

Supposons d'abord l'axe E et le chariot immobiles au-dessus d'un goujon quelconque.

L'appareil constitue alors un véritable manipulateur Morse. En abaissant une touche T, le goujon b soulevé touche le bras a : le courant de la pile passe alors de l'axe O en b, en a, en d, en E, et de là sur la ligne, comme

l'indique la partie droite de la figure. En lâchant la touche, *b* retombe et cesse de toucher *a* (voir le côté gauche de la figure), et le courant est interrompu. Les émissions de courant se produisent donc comme avec le manipulateur Morse.

Mais il s'agit de faire en sorte que ces émissions, uniques pour chaque signal, soient égales en durée et que les *intervalles de temps* qui les séparent soient bien *déterminés*.

Pour cela, on donne un mouvement de rotation uniforme à l'axe E, et par suite au chariot, à l'aide d'un mécanisme à poids dont nous ne nous occuperons pas et qui transmet son mouvement à l'axe à l'aide de deux roues d'angle P, P₁, indiquées sur la figure.

Supposons, pour fixer les idées, que le chariot fasse un tour par seconde. Alors, un goujon *b* étant soulevé, la pièce *a* montera et glissera sur lui pendant le même temps (un cinquantième de seconde par exemple) à chaque tour. On aura donc ainsi : une émission de courant à chaque tour : des émissions de durées égales, qui seront séparées par un intervalle de temps déterminé par la marche même de l'appareil (une seconde dans notre supposition actuelle).

Cela posé complétons la description.

La boîte ABCD porte 28 ouvertures à des distances égales, dans lesquelles se trouvent 28 goujons.

D'autre part, 26 des 28 touches alternativement noires et blanches du clavier portent les lettres de l'alphabet, et en même temps des chiffres et d'autres indications ; les 2 autres sont blanches : l'une sert de point de repère comme le cran de la croix au cadran ; l'autre sert à transmettre à volonté à l'aide d'un mécanisme spécial des lettres ou des chiffres. Le mécanisme du manipulateur Hughes se réduit donc en définitive à ceci : on appuie les doigts sur les touches correspondant aux lettres successives d'un mot et on les abaisse : les goujons correspon-

dants se soulèvent; le chariot dans son mouvement passe successivement sur eux; il en résulte sur la ligne télégraphique autant d'émissions de courant; émissions uniques pour chaque lettre, de durées égales, *et se succèdent à des intervalles de temps déterminés* par la distance qui sépare les goujons dans la boîte, leur épaisseur, la largeur de la pièce *a* et la vitesse de rotation de l'axe *E*.

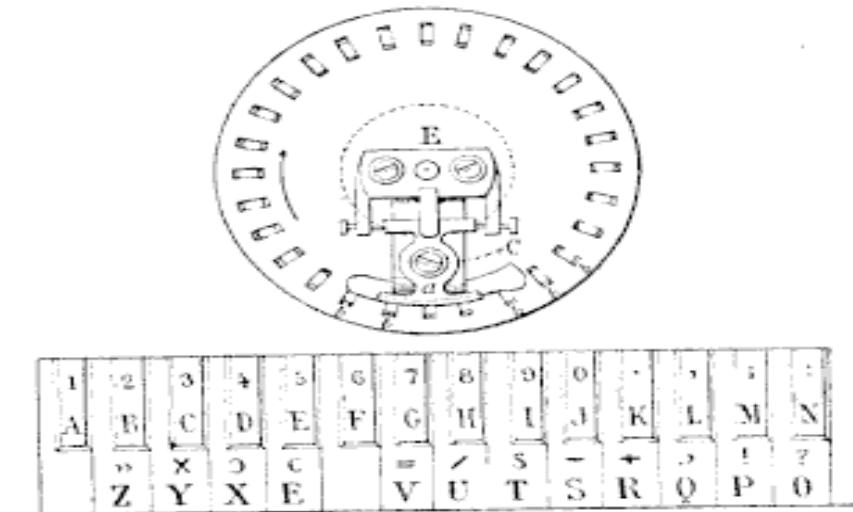


Fig. 92.

Il reste à voir comment on peut disposer un récepteur susceptible de transformer de telles émissions de courant de façon à reproduire les lettres ou signes qui leur correspondent au manipulateur. C'est ce qu'on verra plus tard.

Notons encore, en attendant, qu'au bout de l'axe qui supporte la roue P_1 est fixée une roue en acier trempé H , nommée *roue des types*, qui porte en relief sur sa circonference : les 26 lettres des touches du clavier, plus 2 autres correspondant aux 2 touches qui ne portent pas d'indications : entre les lettres, les chiffres ou signes inscrits avec les lettres sur les touches.

Enfin nous remarquerons : 1° que le mouvement de cette roue à types est *identique* à celui des roues P et P_1 et par suite de l'axe E et du chariot : elle fait un tour exacte-

ment dans le même temps que le chariot ; 2° qu'elle est calée de façon que, lorsque le chariot passe au-dessus du goujon correspondant à une lettre quelconque, la même lettre sur la roue des types soit *absolument au même instant, au point le plus bas* de cette roue ; 3° que les signes de la roue à types se succèdent d'ailleurs dans le même ordre que celui dans lequel sont parcourus par le chariot les goujons correspondant aux mêmes signes sur les touches.

Ces trois remarques sont très importantes à noter; et quoique, à vrai dire, la roue des types doive être regardée comme faisant partie du récepteur du système et

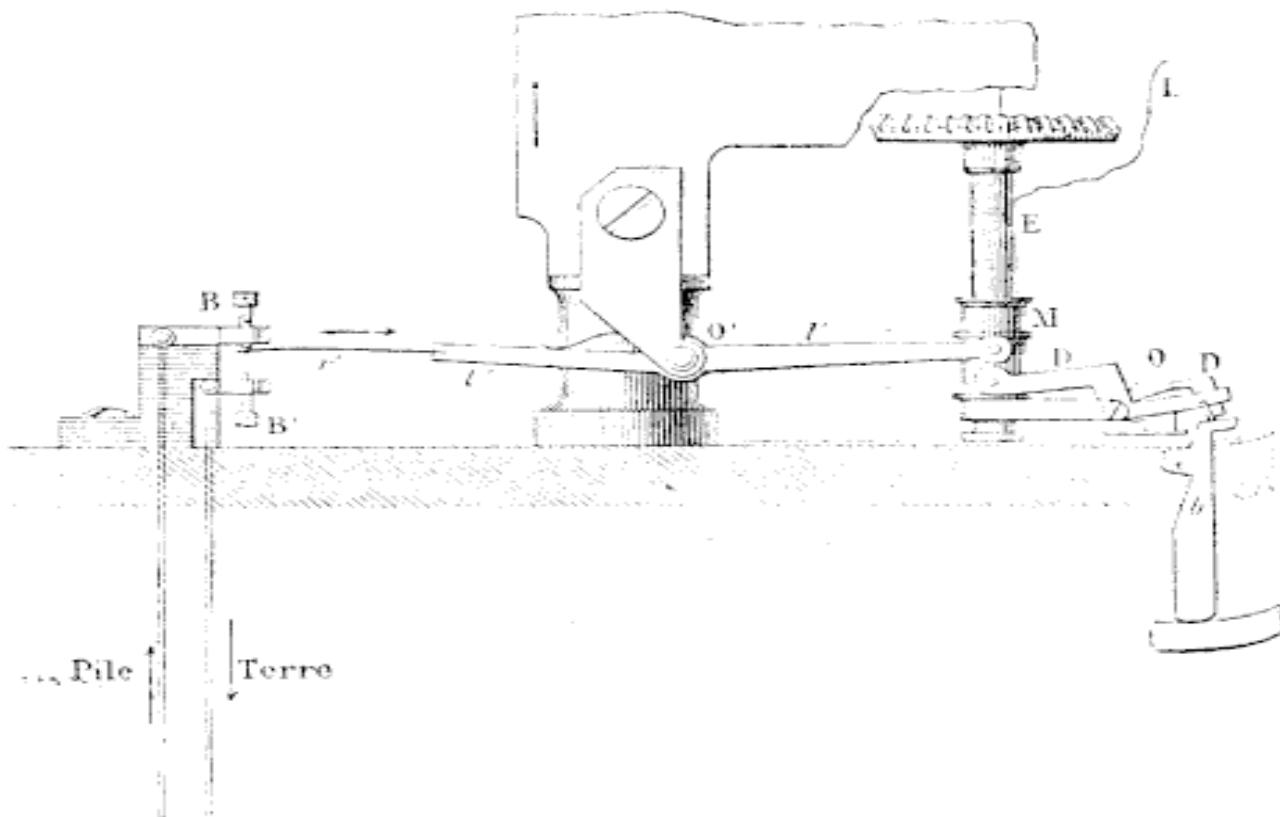


Fig. 95.

non du manipulateur, il est utile de signaler à l'avance cette correspondance *fondamentale* entre le mouvement de cette roue et celui du chariot du manipulateur.

Il faut ajouter encore que le mouvement du chariot (qui continue pendant la manipulation et la réception) n'empêche pas la communication entre les pièces *a* et *c* quand aucun goujon n'est soulevé, et par suite entre la ligne *L* et la terre ce qui existe également dans les manipulateurs précédents dans leur position de repos ou de réception.

On a apporté il y a quelque temps dans le manipulateur Hughes une modification, par laquelle le courant ne passe plus par l'intermédiaire des goujons, qui ne jouent plus alors qu'un rôle purement mécanique.

Le chariot entraîne un levier coudé mobile autour d'un axe *O*, dont la partie antérieure *D* peut être soulevée par les goujons, et dont la partie postérieure *D'* fait alors descendre le long de l'axe *E* un manchon *M*. Celui-ci abaisse le bras *J'* d'un second levier, dit *levier de transmission*, dont le second bras *J* armé d'un ressort *r'* vient frapper un butoir *B*; ce levier est mobile autour d'un axe fixé à un pilier qui fait partie de la masse de l'appareil.

La communication électrique s'effectue alors entre la pile *P* et la ligne *L*, en dehors du chariot et de la boîte à goujons.

Quand ceux-ci ne sont pas soulevés, le ressort *r'* repose sur un second butoir *B'* *isolé du butoir B*, et relié à la terre, c'est la position de réception (fig. 95 bis).

Les communications électriques se trouvent ainsi beaucoup mieux assurées.

Les figures 95 et 95 bis donnent une idée nette de cet ingénieux mécanisme.

Quatrième système.—Manipulateur inverseur pour la télégraphie sous-marine. — Ce manipulateur est destiné à pouvoir utiliser facilement les *changements de sens* d'un courant de pile en même temps que leur *nombre*.

Deux lames en cuivre *A*, *B*, fixées sur un bloc d'ébonite *C* qui les isole, sont reliés l'une *A* à la terre *T*,

L'autre B, à la ligne L sur laquelle on veut envoyer les courants. La partie antérieure de ces lames est disposée comme celle d'un manipulateur Morse; elles portent un contact qui peut être appuyé sur une enclume e. Les deux enclumes sont reliées à une lame trifurquée en

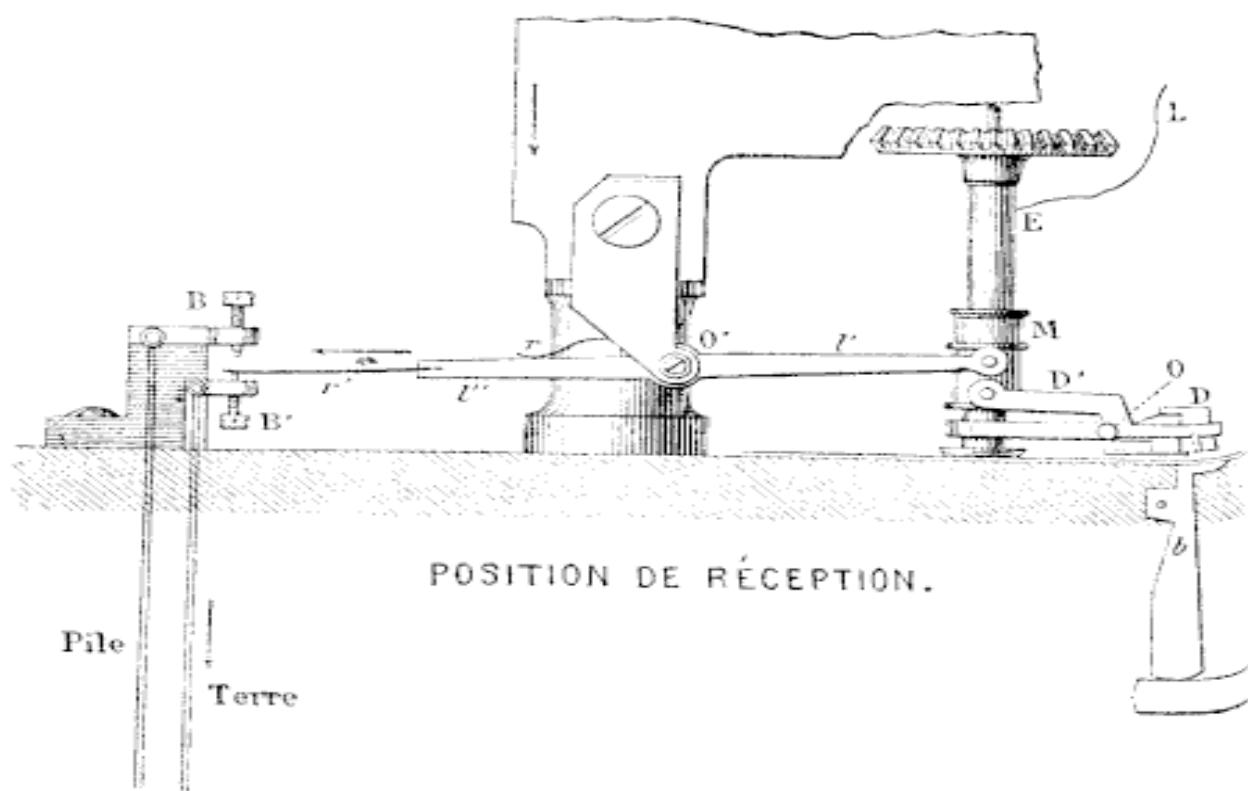


Fig. 93 bis.

cuivre DEF aboutissant à un bouton G communiquant à l'un des pôles de la pile, le positif, par exemple.

A l'état de repos, les lames A et B sont appuyées par des contacts platinés sur les pointes de deux vis V, V' fixées à une lame de cuivre transversale qui aboutit à un bouton M relié au pôle négatif de la pile.

On voit ainsi : 1^o qu'à l'état de repos le pôle négatif est à la terre et le pôle positif isolé; 2^o si on abaisse la lame B le pôle — reste à la terre, mais le pôle + est relié à la ligne qui reçoit ainsi un *courant positif*; 3^o si on abaisse la lame A, le pôle + est mis à la terre et le

pôle — est relié à la ligne qui reçoit un courant dit *négatif*, de sens inverse.

On peut donc ainsi, à l'aide d'une manipulation analogue à celle du Morse envoyer sur une ligne des séries

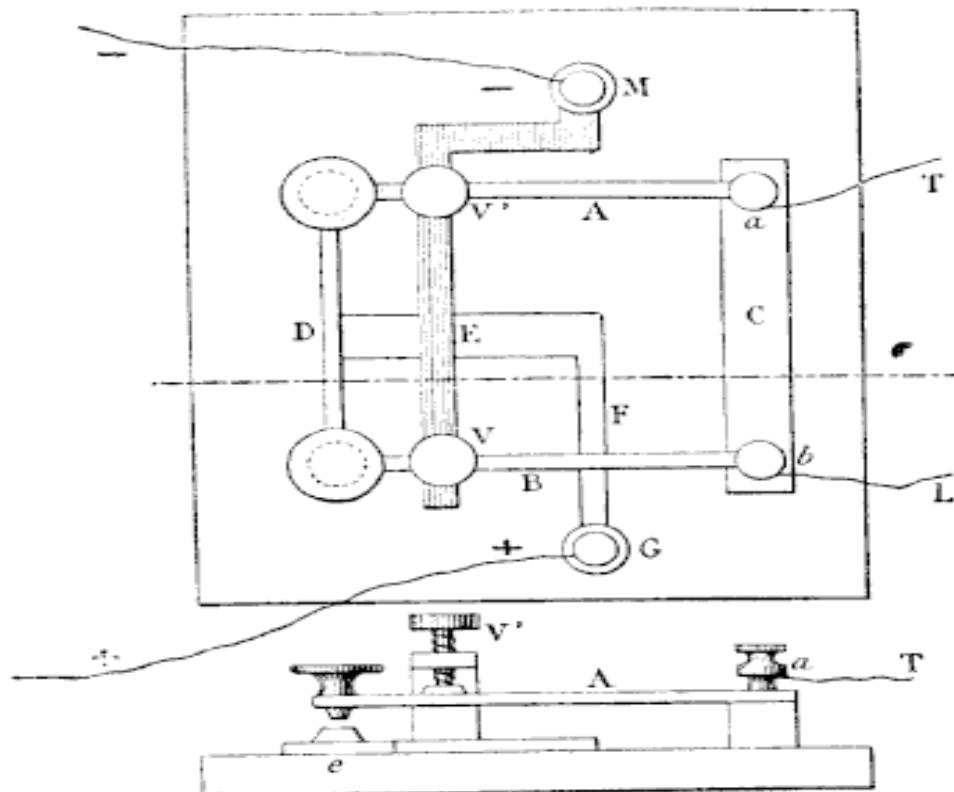


Fig. 94.

de courants de sens inverse, qu'un récepteur convenable transformera ensuite en signaux.

Cinquième système. — Manipulateurs à intensités variables. — Transmetteurs microphoniques et téléphoniques. — On peut produire de beaucoup de manières des courants d'intensité variable. Nous ne parlerons que des systèmes imaginés par MM. Edison et G. Bell qui ont donné naissance à ce qu'on peut appeler les systèmes télégraphiques *microphoniques* et *téléphoniques*.

Dans le système que nous appelons *microphonique* et qui a été rendu pratique d'abord par M. Edison, les variations de courant s'obtiennent en faisant passer le cour-

rant d'une pile sur une ligne par l'intermédiaire d'un corps conducteur, principalement un morceau de charbon de cornues (voir page 40), appuyé sur un contact qui peut être rendu plus ou moins intime par des *pressions variables* ; il en résulte des *résistances variables* au passage du courant, et par suite des variations correspondantes de son intensité, d'après les lois des courants.

Dans l'un des dispositifs imaginés par M. Hughes (qui a rendu le système extrêmement simple et sensible) et auxquels il a donné le nom de *microphones*, un crayon de charbon A repose par ses deux extrémités effilées dans deux cavités pratiquées dans des supports C et C' aussi en

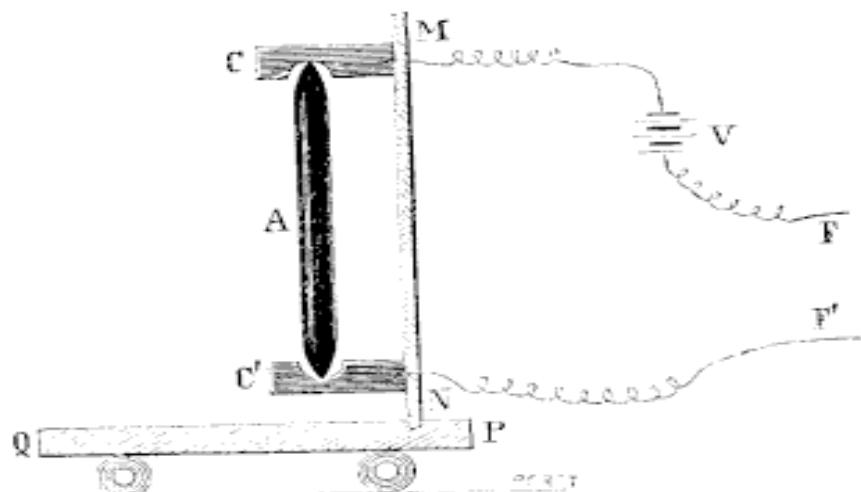


Fig. 95.

charbon fixés sur un montant en bois MN et communiquant avec deux fils F et F' reliés à deux lignes télégraphiques (fig. 95).

Une pile V de deux ou trois éléments est placée entre l'une des lignes F et l'un des supports.

Le tout est fixé sur une planchette PQ, reposant elle-même sur des rondelles de caoutchouc pour éviter la communication à l'appareil des trépidations extérieures.

Tel est le type des manipulateurs ou transmetteurs *microphoniques*.

Pour le mettre en action, il suffit d'exercer sur le

crayon à une action mécanique, si légère qu'elle soit, le frottement d'une plume sur le support, par exemple, suffit. Le crayon s'agit, le contact de sa pointe avec la cavité correspondante varie et il en est de même de l'intensité du courant de la pile V qui passe d'une manière continue à travers le crayon.

Pour produire une véritable *manipulation télégraphique*, on parle en face de l'appareil. Les vibrations de l'air produites par l'émission de la voix se transmettent au crayon qui les reproduit. Il en résulte : des variations correspondantes du contact du crayon avec son support, des résistances variables en ce point, et, par suite, des variations de courant corrélatives sur les fils de ligne F, F'.

Nous verrons plus loin comment ces variations peuvent être recueillies et traduites en signaux d'une façon vraiment merveilleuse.

Le transmetteur ou manipulateur *téléphonique* a été imaginé pour la première fois sous une forme pratique par M. Graham Bell (la fig. 96 représente une coupe de l'appareil vue en perspective).

Il se compose d'un noyau aimanté A portant autour

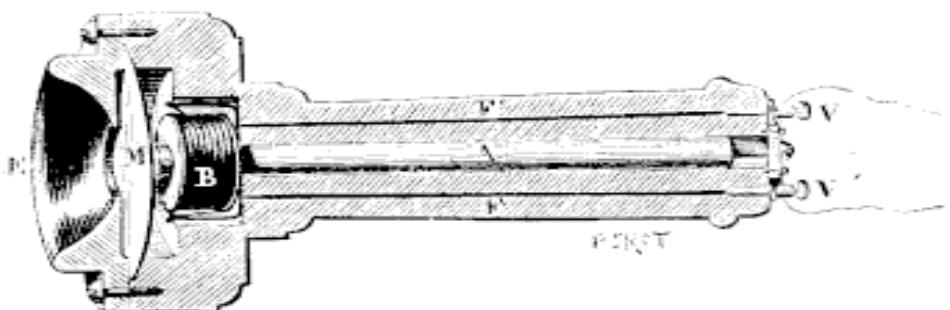


Fig. 96.

d'un de ses pôles une bobine B de fil fin isolé dont les extrémités F, F' communiquent à deux bornes V, V' reliées elles-mêmes à deux lignes télégraphiques.

Une membrane circulaire en fer, M, est fixée très près du pôle de l'aimant et perpendiculairement à son axe,

sur un cylindre en buis terminé par une embouchure E.

Cet appareil si simple peut être regardé (et c'est là son caractère remarquable) comme étant à la fois une *pile* et un *manipulateur*.

Pour le mettre en action il suffit de parler haut devant l'embouchure. Les vibrations de l'air se communiquent à la membrane qui tantôt se rapproche, tantôt s'éloigne du pôle de l'aimant A. Il en résulte, ainsi qu'on l'a indiqué page 459, des courants induits dans le fil de la bobine B, courants *dont l'intensité est variable* comme les mouvements vibratoires de la membrane, et qui vont se propager dans les fils télégraphiques reliés aux extrémités de la bobine, en conservant leur intensité relative.

Il restera à les recueillir sans altérer leur nombre et leur intensité dans un récepteur convenable, de façon à les traduire en signaux, comme ceux qui se produisent dans les microphones.

Depuis l'invention de M. Bell, on a fait varier beaucoup la forme des téléphones sans pile, mais le principe est toujours le même.

QUATRIÈME SECTION

LA LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE

Pour qu'un courant d'une pile puisse se produire, nous avons vu qu'il était nécessaire que les deux pôles fussent réunis par un conducteur continu, quelle que fût d'ailleurs sa composition. Une ligne télégraphique n'est autre chose que ce conducteur de nature complexe, mais continu, qui réunit les deux pôles d'une pile, et dans lequel sont intercalés des manipulateurs, des boussoles, des récepteurs et d'autres appareils accessoires de formes variées, mais qui tous sont bons conducteurs de l'électricité.

C'est à travers ce conducteur que se propagent les courants émis par le manipulateur.

On distingue trois sortes de lignes télégraphiques : les lignes aériennes, les lignes souterraines, les lignes sous-marines.

Nous nous bornerons à en faire une description sommaire, en laissant de côté les questions théoriques et techniques que soulève leur construction et qui dépasseraient les bornes de ce cours.

LIGNES AÉRIENNES

Une ligne aérienne est formée d'un conducteur suspendu en l'air sur des appuis convenables. Ce conducteur

est en fer qu'on a choisi de préférence au cuivre qui conduit sept fois mieux l'électricité, parce qu'il résiste beaucoup mieux aux tensions aux quelles il est soumis.

Ce fil de fer est *galvanisé*, c'est-à-dire recouvert d'une mince couche de zinc qu'on produit en plongeant le fer préalablement bien décapé dans un bain de zinc fondu. Cette galvanisation préserve le fil de la destruction par l'oxydation : nous en avons indiqué le motif précédemment (Voir page 24).

Les dimensions de ce fil varient de 5 à 5 ou 6 millimètres de diamètre.

Ces fils sont posés sur les appuis dont nous allons parler tout à l'heure par bouts de 200 mètres environ. Il faut raccorder ces bouts avec le plus grand soin. Après avoir successivement adopté divers systèmes, on emploie actuellement le suivant.

On fait glisser les deux bouts à raccorder côté à côté dans un petit tube ABCD appelé *manchon* percé d'une large ouverture O, par laquelle on fait couler de la soudure, alliage de deux parties d'étain et d'une partie de plomb : les extrémités des fils sont ensuite recourbées. On a ainsi un très bon contact entre les deux fils et un système qui résiste très bien à la traction (fig. 97).



Fig. 97.

Les supports employés pour ces fils sont des poteaux en bois ou en fer.

Les poteaux en bois sont formés en France avec des pins ou des sapins : leur hauteur varie de 6 mètres à 12 mètres. Leur distance est très variable, suivant la forme du chemin qu'ils suivent et les accidents de terrain qu'il présente. Dans les lignes droites cette distance est d'environ 80 mètres.

Les poteaux sont plantés à des profondeurs qui dépendent de leur hauteur et de la nature du terrain. En terrain ordinaire, les poteaux de 6 mètres à 8 mètres

sont plantés à 4^m,50 environ de profondeur; les poteaux de 8 mètres à 10 mètres à 2 mètres; ceux de 12 mètres à 2^m,50.

Dans les lignes courbes, les poteaux subissent de la part du fil, à droite et à gauche un *tirage* plus ou moins considérable auquel un poteau unique ne pourrait souvent pas résister; on en accouple alors deux en les réunissant en haut par des boulons, en bas ou au milieu par des traverses: l'un d'eux est planté verticalement, et l'autre lui sert de jambe de force. La disposition relative des deux poteaux varie du reste suivant les cas (fig. 98).

Dans le cas où la ligne doit passer au-dessus d'un obstacle élevé, on enlève le poteau entre deux autres auxquels on le relie très solidement formant ainsi ce qu'on nomme un exhaussement.

Enfin lorsqu'on a à traverser des villes ou des villages où l'on ne peut planter des poteaux en terre, on emploie comme appuis des potelets soutenus par des tiges en fer scellées aux murs des maisons (fig. 99).

Les poteaux sont soumis à diverses causes de destruction parmi lesquelles il faut citer la fermentation des liquides à l'intérieur de leurs tissus, et l'action des vers et des insectes qui désagrègent les fibres; au bout d'un certain temps ils pourrissent, surtout dans la partie plongée en terre. On préserve pendant un certain temps les poteaux de ces causes

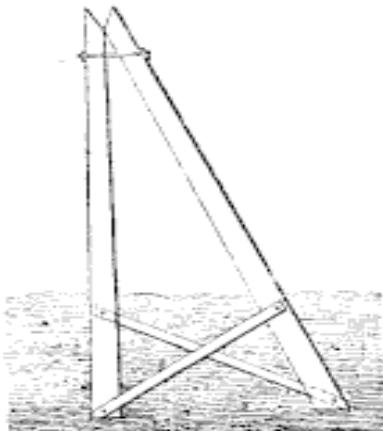


Fig. 98.

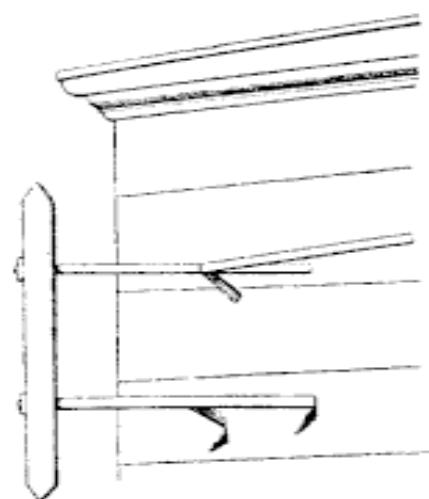


Fig. 99.

de destruction en en carbonisant le pied, c'est-à-dire en brûlant la partie superficielle sur une longueur un peu supérieure à celle qui doit être enterrée. Mais un procédé beaucoup plus efficace est *l'injection*.

Injecter un poteau, c'est remplacer dans les interstices que présentent ses fibres la sève et les autres liquides par une substance qui empêche la fermentation et l'action des insectes. La substance la plus employée à cet effet est une dissolution de sulfate de cuivre. On la fait pénétrer à l'intérieur du poteau à l'aide d'une pression convenable le plus tôt possible après l'abattage; au bout d'un temps qui varie de deux à cinq ou six jours l'injection est complète et les bois ainsi préparés se conservent parfaitement pendant très longtemps.

Isolément de la ligne. — Une condition essentielle à laquelle doit satisfaire une ligne télégraphique quelconque c'est d'être *isolée* aussi bien que possible, c'est-à-dire ne pas communiquer avec des corps sur lesquels la tension électrique serait moindre que sur le fil quand il est parcouru par le courant; il résulterait, en effet, de *cette différence de tension* un courant secondaire ou *dérivé* qui affaiblirait d'autant le courant qui passe sur la ligne. Or la terre est dans ce cas: il faut donc éviter avec soin toute communication de la ligne avec la terre par l'intermédiaire d'un corps conducteur.

En temps sec le bois est mauvais conducteur ou très-résistant; mais en temps humide il n'en est pas ainsi. De là la nécessité de séparer la ligne des poteaux par des supports intermédiaires en porcelaine bien isolants. On les appelle des *isolateurs*. En voici les principales formes.

Isolateur-cloche. — C'est une cloche en porcelaine à l'intérieur de laquelle est mastiqué au plâtre et à la colle forte un crochet en fer galvanisé. Elle porte deux oreilles percées d'un trou par lequel passent les vis qui fixent la cloche au poteau. Le fil de la ligne est posé à l'intérieur du crochet et y est arrêté quand c'est nécessaire à l'aide

d'une ligature de fil fin galvanisé. La résistance de ce support au passage du courant qui traverse le fil est considérable : quand il est bon, il a une résistance de 42 000 000 d'unités, ou 4 200 000 kilomètres de fil de fer de 4 millimètres même en temps très humide. Dans ces conditions on comprend quelle doit être la faible intensité du courant dérivé qui irait du fil au sol à travers un circuit extérieur aussi résistant (fig. 400).

Isolateur-arrêt. — C'est une cloche fixée au poteau par une console en fer et qui porte à sa surface un ou deux mamelons *a*, *b*, et un champignon *c*, entre lesquels est placé le fil. Ce support très solide est placé dans les parties courbes principalement, et alors le fil est posé entre *b* et *c* : dans les parties droites il vaut mieux mettre le fil entre *a* et *c*, car si le mamelon se casse le fil tombe en *d* et ne se mêle pas aux fils inférieurs qui sont sur le même poteau (fig. 401).

Le fil de ligne est toujours arrêté sur ces supports, d'où leur nom.

Isolateur-arrêt double. — Dans certains endroits où on doit couper souvent les fils télégraphiques pour faire des expériences diverses, on place des arrêts doubles dont la figure indique suffisamment la forme, sur lesquels le fil est arrêté de chaque côté ; un fil fin réunit les deux côtés :

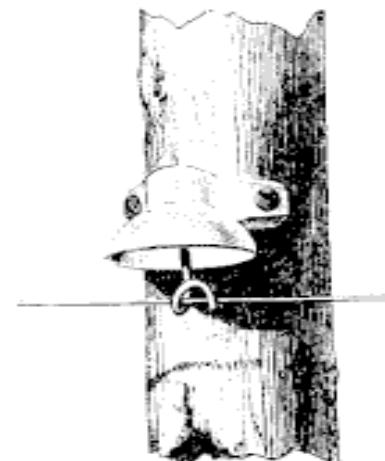


Fig. 400.

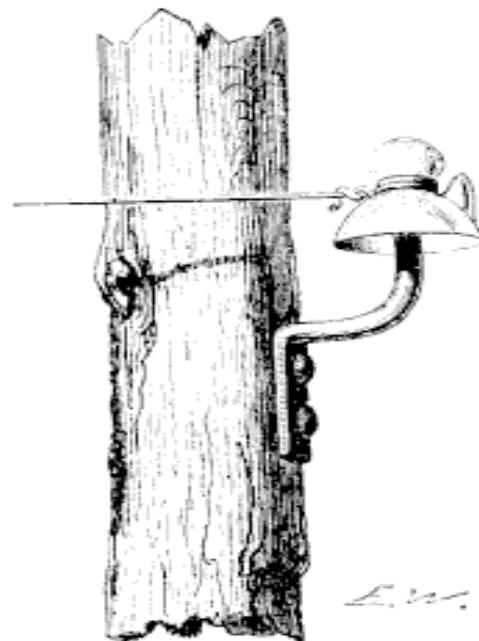


Fig. 401.

on l'enlève ou on le coupe quand on veut expérimenter (fig. 102).

Ces divers isolateurs sont fixés aux poteaux et à des

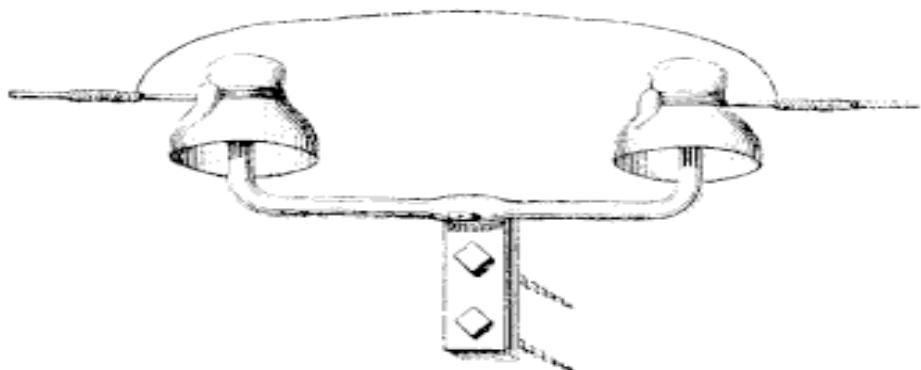


Fig. 102.

distances verticales de 20 à 50 centimètres pour les lignes à plusieurs fils ; ceux-ci s'étendent ainsi parallèlement et se trouvent suffisamment séparés les uns des autres, au moins dans les circonstances ordinaires. Nous verrons plus tard quels sont, dans les cas extraordinaires, les inconvénients qui résultent de cette disposition d'ailleurs inévitable sur des lignes aériennes.

LIGNES SOUTERRAINES

Dans les cas où il n'est pas possible de suspendre en l'air des fils télégraphiques, on en est réduit à les placer dans la terre en les recouvrant avec le plus grand soin d'une enveloppe bien isolante.

Les fils ainsi simplement posés dans la terre n'éprouvent pas d'efforts de traction considérables : on se sert de fils de cuivre à cause de leur excellente conductibilité.

Les bouts du fil sont soigneusement raccordés ; à cet effet on les taille en biseaux *a b* qu'on soude à l'argent, et on ajoute une ligature en fil de cuivre fin (fig. 105).

Isollement. — L'enveloppe isolante dont on se sert est

en *gutta-percha*, suc d'un arbre qui croît dans l'archipel Indien. C'est une matière qui se ramollit sous l'action d'une faible chaleur, extrêmement plastique, et qui isole parfaitement l'électricité, quand elle est bien purifiée. C'est un composé de charbon et d'hydrogène contenant environ 90 pour 100 de charbon. Elle se conserve indéfiniment dans l'eau pure ; mais à l'air ou dans la terre, elle s'oxyde et se fendille.

Il en résulte l'impossibilité de se servir d'un fil de cuivre simplement recouvert de *gutta-percha* pour les lignes souterraines ; il faut y ajouter une substance protectrice qui empêche l'oxydation. On se sert à cet effet de coton imbibé de *goudron de bois*, dit goudron de Stockholm (il faudrait bien se garder d'employer du goudron de houille qui dissout et altère la *gutta-percha*) : c'est ce qu'on nomme le *guipage* du fil.

Généralement on juxtapose plusieurs fils ainsi *guipés* de façon à en faire des câbles qu'on recouvre d'un ruban goudronné, d'un guipage, d'un nouveau ruban goudronné et enfin d'un dernier guipage noir non goudronné.

Lorsqu'on veut poser ces câbles dans des égouts, des terrains où ils seraient exposés aux émanations du gaz d'éclairage, des tunnels de chemin de fer, on les place dans des tubes en plomb. Dans les autres cas, on emploie des tuyaux en fonte placés au fond d'une tranchée de 1 mètre à 4^m,50 de profondeur : ils ont 2^m,50 de longueur ; on les raccorde avec des bagues en plomb. Tous les 50 mètres environ, on place des tuyaux d'un plus grand diamètre, nommés *manchons*, qui servent de points de repère. De distance en distance on dispose quelquefois des *regards*, c'est-à-dire des caisses en maçonnerie où aboutissent les fils de ligne ; ils y sont séparés et numé-



Fig. 405

rotés, ce qui rend les recherches et expériences faciles. Dans le cas où on met des manchons les regards sont inutiles.

Pour les lignes souterraines en dehors des villes on peut se borner à placer les fils séparés dans des conduits en bois ou en fonte.

Pour raccorder les fils souterrains avec les fils aériens, on les fait arriver soit dans des colonnes creuses en fonte, soit dans de petits bâtiments nommés *guérites* où on effectue le raccordement et qui peuvent servir à faire commodément des expériences.

L'emploi des lignes souterraines est forcé sur une portion du parcours des lignes télégraphiques. Si on voulait en faire des lignes entières, on voit quels seraient leurs avantages sur les lignes aériennes : le fil est bien meilleur conducteur et elles ne sont pas soumises aux accidents qui peuvent arriver aux autres. Mais elles présentent aussi de grands désavantages : d'abord elles coûtent actuellement dix fois plus cher, et puis la transmission télégraphique y serait fort ralentie par suite de phénomènes qui tiennent à la présence de l'enveloppe isolante, désignés sous le nom de phénomènes *d'induction* ; on en connaît d'avance les effets probables, car on les a expérimentés sur une très grande échelle dans les lignes sous-marines dont nous allons maintenant nous occuper très brièvement.

LIGNES SOUS-MARINES

Lorsqu'on veut établir une ligne télégraphique dans l'eau d'un fleuve ou de la mer, on se trouve d'abord dans les mêmes conditions que pour les lignes souterraines, et le conducteur doit être nécessairement isolé. On doit donc employer un conducteur en cuivre, C, aussi pur que possible et l'entourer d'une enveloppe isolante suffisamment

épaisse, quand il s'agit d'une ligne sous-marine, pour résister à la pénétration de l'eau par suite des pressions énormes qu'elle exerce sur le fond de la mer.

Considérons tout de suite le cas le plus difficile d'une communication très lointaine à travers une mer ou un océan. On emploie alors une enveloppe isolante *G* formée de couches successives et alternatives de gutta-percha très pure et d'un mélange de gutta-percha et de goudron de Stockholm appelé *composition-Chatterton* (du nom de l'inventeur) qui augmente encore l'isolement de la gutta-percha et la rend très étanche.

Ame d'un câble. — On obtient ainsi ce qu'on nomme *l'âme* de la ligne ou du câble sous-marin; on lui donne un diamètre de 9 à 11 millimètres, dont le conducteur en cuivre devrait théoriquement occuper les trois cinquièmes pour se trouver dans les meilleures conditions. Ce conducteur est d'ailleurs une cordelette faite avec plusieurs fils plus fins.

Il paraît difficile de se servir d'un conducteur aussi simple. Les conditions dans lesquelles s'opère ordinairement l'immersion d'un câble sous-marin obligent à en compliquer la forme. En effet le fond de la mer présente une configuration analogue à la surface de la terre : il est formé de plaines, de montagnes et de vallées. Quels que soient le temps et le soin qu'on mette

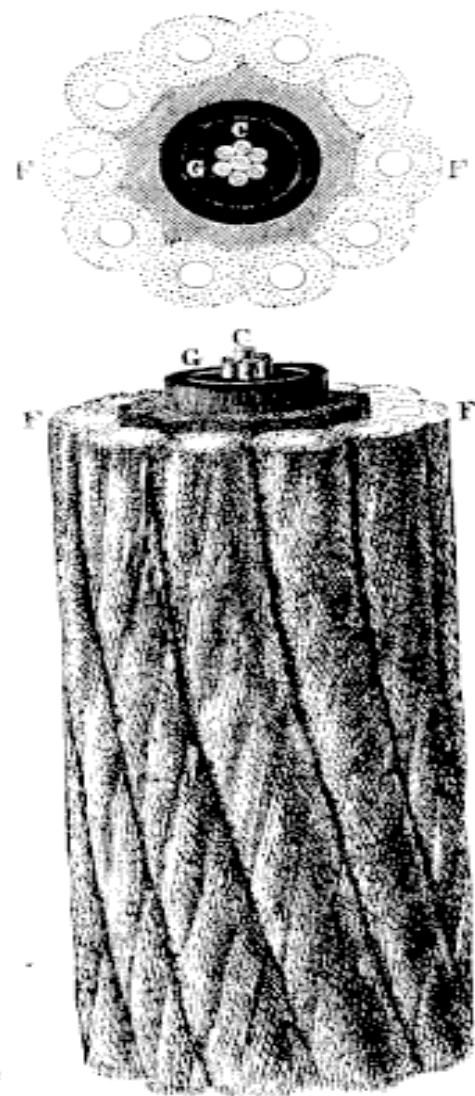


Fig. 104.

à immerger un câble, on doit prévoir qu'il ne suivra pas toujours exactement les sinuosités du terrain; il y aura nécessairement des portions du câble qui seront suspendues entre les sommets de collines ou même de montagnes dont les hauteurs peuvent être considérables. De là deux causes de destruction : l'usure par le frottement sur les rochers ; la rupture par suite du poids même du câble suspendu.

Enveloppe protectrice ou armature. — Il est donc nécessaire d'entourer l'âme d'une enveloppe protectrice extrêmement résistante, nommée *armature*, F. Elle est formée de fils de fer de 2 à 3 millimètres de diamètre entourés de chanvre goudronné, et disposés autour de l'âme en faisceau hélicoïdal.

Mais il faut songer qu'une pareille armature sous l'influence des tractions, tensions et même torsions qui peuvent se produire serait susceptible d'écraser l'enveloppe isolante intérieure ou de la déchirer. Il y a donc lieu d'interposer entre elles une sorte de matelas élastique destiné à empêcher ces effets : on emploie dans ce but une couche de chanvre ou de filin imprégnés de sulfat de cuivre *b*.

Ajoutons encore que dans le voisinage des côtes où les extrémités des câbles atterrissent, on augmente du double le diamètre des fils de l'armature, afin qu'elle résiste mieux au frottement sur les rochers.

On obtient ainsi un système très complexe, très compliqué au point de vue mécanique et électrique, mais dont la forme est imposée par les conditions mêmes qu'il doit remplir à ce double point de vue. Les inconvénients électriques des câbles souterrains sont encore aggravés ici par la présence d'une enveloppe métallique plongée dans un milieu conducteur, l'eau de mer. Néanmoins après de longs tâtonnements et de nombreux insuccès, on a pu arriver à poser plusieurs conducteurs de cette nature qui fonctionnent lentement, mais régulièrement.

Nous bornerons là ce que nous avons à dire au sujet des lignes télégraphiques : nous y reviendrons plus tard pour étudier les conditions de leur fonctionnement régulier, et les perturbations que les divers accidents auxquels elles sont exposées peuvent apporter au travail télégraphique.

CINQUIÈME SECTION

L'ÉLECTRO-AIMANT ET LE RÉCEPTEUR

Après avoir décrit la ligne télégraphique sur laquelle se propagent les courants émis par le manipulateur, il faut voir maintenant comment ces émissions d'un courant peuvent être transformées en signaux.

On y arrive en utilisant : soit l'action mécanique d'un courant sur une aiguille aimantée, action qui change de sens avec le sens du courant: c'est ce qui a lieu notamment dans l'appareil anglais à aiguilles et dans l'appareil employé dans la télégraphie sous-marine; soit la décomposition chimique des sels par le courant, comme dans l'appareil autographique Caselli aujourd'hui abandonné; soit enfin une autre action mécanique du courant que nous allons maintenant étudier, et qui sert de base aux récepteurs les plus employés actuellement (le récepteur de la télégraphie sous-marine, qui n'est autre chose que le galvanomètre de Thomson, étant mis à part).

Action d'un courant sur la limaille de fer. — En 1820, peu après la découverte d'Ersted, Arago trouva qu'un fil conducteur parcouru par un courant énergique attire la limaille de fer, se comportant ainsi comme un aimant. Il montra également que le courant aimantait l'acier; mais c'est Ampère qui imagina la disposition la plus simple pour mettre ce fait en évidence.

Aimantation de l'acier par un courant. — Il suffit de mettre dans un tube en verre une aiguille d'acier *a b* d'entourer le tube d'une hélice de fil de cuivre recouvert



Fig. 105.

de soie et de faire passer un courant dans ce fil : immédiatement l'aiguille est aimantée, son pôle austral *a* étant placé, conformément à la règle d'Ampère (Voir page 106), *à gauche du courant*.

Si on change le sens du courant on diminue le magnétisme de l'aiguille, puis on le détruit, puis on le change de sens.

Si, à partir d'un point du tube, du milieu par exemple, on change le sens d'enroulement de l'hélice, il est clair qu'on déterminera ainsi par le passage du courant deux pôles austraux aux extrémités et un double pôle boréal au milieu.

Aimantation du fer doux. — L'aimantation ainsi communiquée à l'acier est persistante. Elle n'est que temporaire dans le fer doux. Le phénomène que nous avons déjà signalé (page 102) dans l'aimantation du fer par les aimants se reproduit ici dans l'aimantation par un courant. Si le fer est très doux, lorsque le courant est interrompu son aimantation cesse instantanément. S'il ne l'est pas, et c'est le cas ordinaire, il conserve toujours un peu de magnétisme dit *rémanent*, qui est d'autant plus grand que l'aimantation a été plus forte.

Néanmoins le fer peut être aimanté et désaimanté très rapidement, jusqu'à plusieurs centaines de fois par seconde; propriété très remarquable et très utile, comme nous allons le voir.

Électro-aimants. — On appelle électro-aimant une tige en fer doux entourée d'une bobine de fil de cuivre recouvert de soie.

On lui donne les formes les plus diverses dont les principales sont les suivantes :

1^o La forme en fer à cheval. Le fil de cuivre n'est en

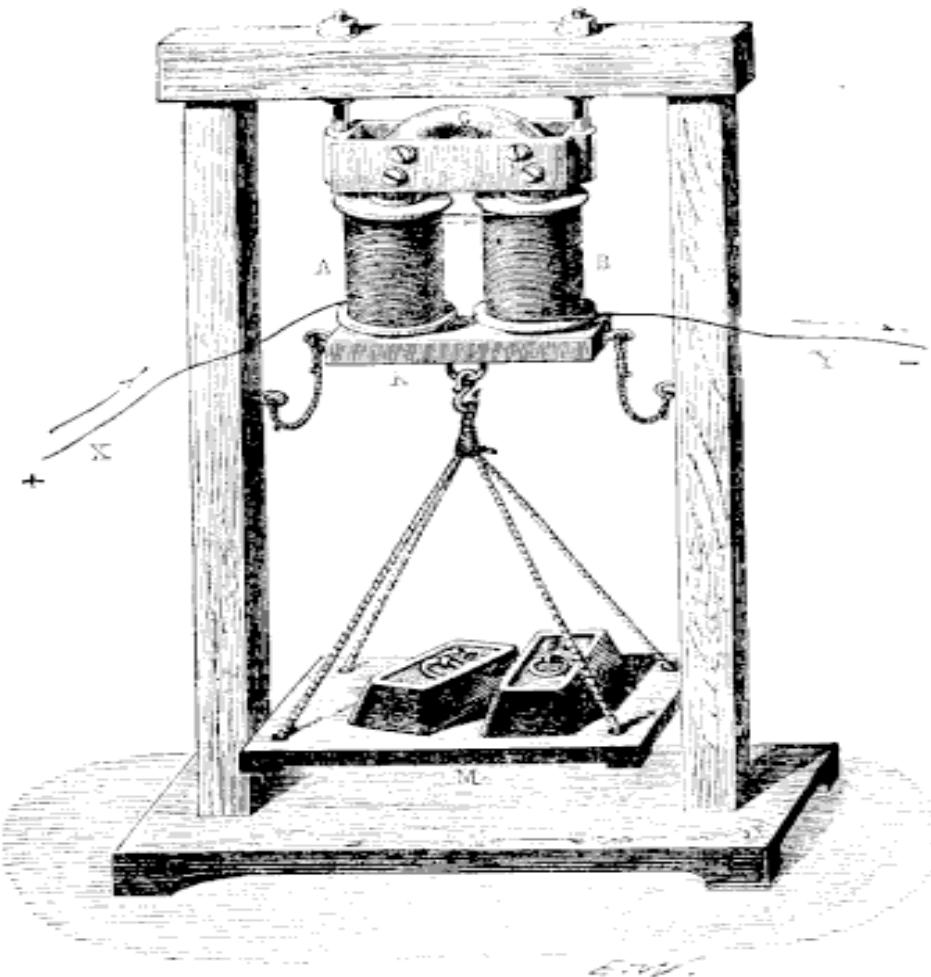


Fig. 105.

roulé que sur les extrémités des deux branches, toujours *dans le même sens*. La figure 106 représente l'un d'eux muni d'une armature supportant des poids.

2^o La forme la plus usitée en télégraphie, qui se compose de deux *noyaux* cylindriques A et B en fer doux vissés dans une traverse T également en fer nommée *culasse* : les noyaux sont séparés des bobines G, G', qui les entourent par une carcasse mince en cuivre ; un bout

du fil, dans chaque bobine, est soudé à cette carcasse. Il résulte de cette disposition que le courant, après avoir traversé une bobine, passe à l'autre par l'intermédiaire de la culasse qui doit être par suite isolée sur le support où elle est posée. L'enroulement du fil est d'ailleurs tel qu'il y ait aux extrémités des noyaux des pôles contraires A et B, quand passe le courant (fig. 407) ;

5^e Enfin la forme précédente avec une seule bobine. On a alors ce qu'on appelle un électro-aimant *boiteux*, et on a aux deux pôles une force magnétique totale égale à celle qu'il y aurait si la bobine était divisée en deux et recouvrât les 2 noyaux.

Transformation des aimantations et désaimantations en mouvements mécaniques. — Si on place en face des extrémités d'un électro-aimant une armature en fer doux MN, et si on fait passer le courant, les pôles magnétiques A et B de l'électro-aimant produiront deux pôles contraires *b, a*, vis-à-vis d'eux dans l'armature, et il en résultera une attraction plus ou moins énergique (fig. 408).

Si de plus, comme on le fait d'habitude, la palette est mobile autour d'un axe O entre 2 butoirs V et V_1 , et maintenue contre l'un des butoirs par un ressort tendu *r*, comme l'indique la figure, à chaque passage de courant la palette effectuera un mouvement de haut en bas de V en V_1 ; mais quand le courant cessera, l'action du ressort *antagoniste* *r* la relèvera brusquement de bas en haut. Une série d'émissions et d'interruptions de courant seront donc ainsi transformées

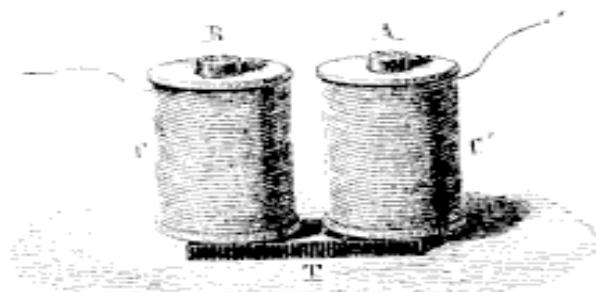


Fig. 407.

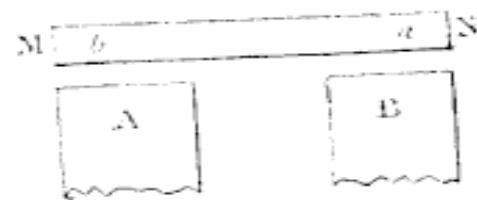


Fig. 408.

par cet appareil en mouvements rectilignes alternatifs. Nous allons voir tout à l'heure comment ces mouvements seront utilisés pour produire des signaux.

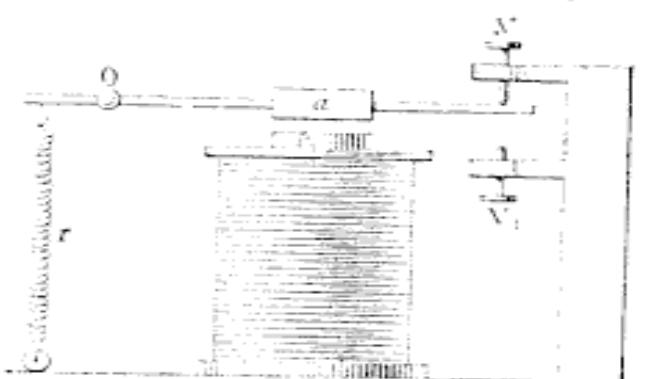


Fig. 109.

magnétisme rémanent qui tend à maintenir l'attraction des noyaux et de l'armature après l'interruption du courant.

2° Il faut éviter le contact de l'armature avec les noyaux qui favorise l'action du magnétisme rémanent et l'adhérence des deux organes. On y arrive à l'aide de la vis du buttoir V_1 ou en plaçant simplement une feuille de papier entre l'armature et les noyaux.

3° Il faut néanmoins rapprocher autant que possible l'armature des noyaux, parce que leur attraction mutuelle diminue très rapidement d'intensité quand la distance augmente. Les vis V et V_1 des buttoirs servent à effectuer ce réglage qui augmente ou diminue à volonté la sensibilité de l'électro-aimant.

Électro-aimants à noyaux et armature aimantés.

— L'électro-aimant que nous venons de décrire fonctionne de la même manière, quel que soit le sens du courant qui le traverse. Mais on construit aussi des électro-aimants dans lesquels les mouvements de l'armature dépendent du sens du courant. Parmi les formes variées qu'ils présentent, nous en choisirons seulement une qui est employée dans l'appareil Hughes.

Au-dessous des noyaux de l'électro-aimant sont placés les pôles, tel que A, d'un aimant en fer à cheval M : les

Il est indispensable que ces mouvements soient rapides et nets. Les conditions à remplir pour y parvenir sont les suivantes :

4° Les noyaux doivent être en fer aussi doux que possible afin d'éviter l'effet du

noyaux sont alors aimantés, ainsi que l'armature qui est au contact. Cette armature, mobile autour du point O, tend à être soulevée par un ressort r pressé par une vis V : ce ressort est tendu jusqu'à ce qu'il fasse presque équilibre à l'action attractive de l'électro-aimant. Il en résulte que si on fait passer dans la bobine un faible courant dans un sens tel qu'il tende à intervertir les pôles a et b des noyaux, l'attraction sur l'armature diminuera, l'action du ressort r sera

prédominante et l'armature sera repoussée vivement. Si le courant cesse, l'électro-aimant reprendra sa force, mais l'armature ne peut se remettre d'elle-même au contact ; il faut qu'une force étrangère l'y replace : dans l'appareil Hughes un mécanisme spécial est chargé de ce soin et s'en acquitte en quelque sorte instantanément.

Dans d'autres électro-aimants de ce genre cet inconvénient n'existe pas, et le mouvement de va-et-vient de l'armature s'opère de lui-même, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir un mécanisme étranger¹.

Électro-aimant à trembleur. — Le mouvement alternatif de l'armature d'un électro-aimant peut être rendu continu, sans que le courant soit interrompu au manipulateur. Il suffit pour cela de faire communiquer l'une des extrémités de la bobine avec l'axe o de l'armature, l'autre extrémité, comme d'habitude, avec un pôle de la pile, et le second pôle avec le butoir qui est en contact

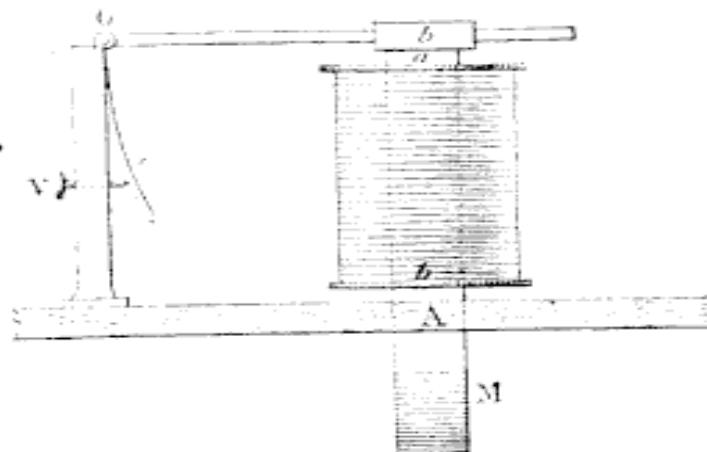


Fig. 410.

1. Par exemple dans l'électro-aimant du relais Siemens et dans celui des appareils Meyer.

avec l'armature lorsqu'elle est en repos. Le circuit de la pile se trouve ainsi fermé par l'armature elle-même.

Faisons maintenant passer un courant, l'armature sera attirée ; mais au même instant le circuit de la pile sera

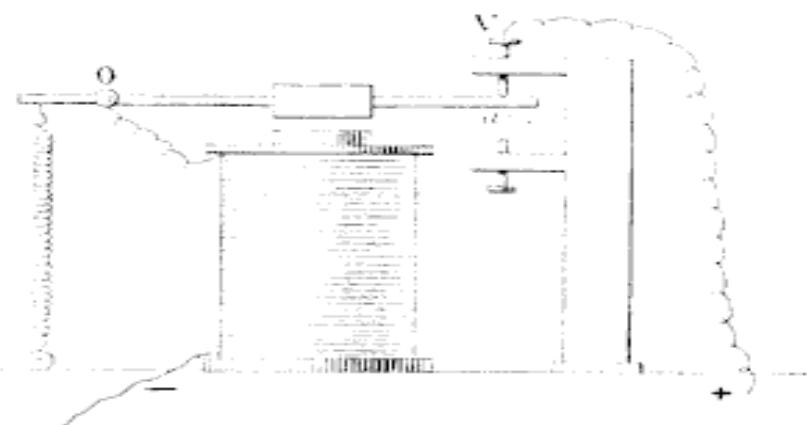


Fig. 411.

rompu au point *a*, le courant cessera, l'armature sera attirée par le ressort de rappel vers le butoir *V* ; le courant pourra alors passer de nouveau, l'armature exécutera un second mouvement, et ainsi de suite. Il résultera donc de cette disposition que le courant de la pile, quoiqu'on l'émette d'une manière continue, sera à chaque instant rompu par le mouvement même de l'armature et que celle-ci exécutera une série indéfinie d'oscillations, d'où le nom de *trembleur* donné à une telle armature. Ce mouvement peut être extrêmement rapide ; en prenant une armature flexible et un butoir élastique, on peut arriver à produire ainsi plusieurs centaines d'oscillations par seconde.

On utilise ce genre d'électro-aimant dans une sonnerie que nous décrirons bientôt.

Intensité du magnétisme d'un électro-aimant. — L'intensité magnétique d'un électro-aimant ordinaire est proportionnelle à l'intensité du courant qui le parcourt. On a donc intérêt à augmenter l'intensité de la pile qu'on emploie.

Elle est proportionnelle aussi *au nombre des tours du fil de la bobine, pourvu toutefois que leur éloignement du noyau ne dépasse pas 10 à 12 mm.*

Jusqu'à cette limite on augmente l'énergie de l'action magnétique des noyaux en augmentant le nombre de tours. Mais lorsque l'électro-aimant est dans le circuit d'une pile, la résistance du fil de sa bobine influe sur l'intensité du courant (voir page 422), et par suite sur son propre effet magnétique. Il est donc fort important de savoir quelle est la grosseur ou la résistance du fil qui doit remplir la bobine jusqu'à la limite indiquée plus haut.

En soumettant la question au calcul, on trouve que pour obtenir avec l'électro-aimant un effet magnétique maximum, il faut que la résistance du fil de sa bobine soit égale à celle de tout le reste du circuit dans lequel il est placé, y compris la pile. Mais le calcul ne tient pas compte d'un assez grand nombre de données accessoires, de telle sorte qu'en pratique on peut diminuer beaucoup la résistance qui résulterait de la condition précédente. On ne dépasse guère une résistance de 100 kilomètres (ou 1000 unités) et on emploie beaucoup des électro-aimants d'une résistance de 50 kilomètres (500 unités), soit 25 kilom. par bobine.

Telles sont les principales formes et propriétés des électro-aimants ; il était nécessaire de les indiquer avec quelques détails parce qu'ils forment l'organe le plus important des principaux récepteurs télégraphiques actuellement en usage. A ce point de vue spécial de leur utilisation en télégraphie, on voit d'après ce qui précède que la fonction d'un électro-aimant consiste à *transformer en mouvements rectilignes alternatifs d'une tige rigide des émissions et interruptions d'un courant produites par un manipulateur.*

De là à combiner quelques organes mécaniques qui produisent des signaux à l'aide de ces mouvements, il n'y a qu'un pas, et on forme ainsi les appareils nommés

récepteurs télégraphiques dont nous allons maintenant nous occuper.

RÉCEPTEURS TÉLÉGRAPHIQUES

On peut définir le récepteur télégraphique : *un appareil intercalé dans une ligne télégraphique et destiné à transformer en signaux les émissions successives d'un courant produites par un manipulateur.*

Nous allons décrire successivement les récepteurs correspondant aux manipulateurs déjà décrits plus haut et quelques autres appareils qui rentrent dans la définition générale que nous venons de donner, et dont le fonctionnement est indépendant de la nature du manipulateur, par exemple les relais, les sonneries, les parleurs.

Récepteur à cadran. — On a vu plus haut (page 145) que l'action de porter la manivelle du manipulateur à cadran sur une lettre correspond à un certain *nombre d'émissions et interruptions de courant envoyées sur la ligne.*

Intégrons dans la ligne un électro-aimant horizontal (qui n'est pas dessiné sur la figure, mais qui doit être supposé en avant de la feuille devant l'armature P).

L'armature P effectuera autant de mouvements de va-et-vient

que le manipulateur enverra d'émissions et d'interruptions de courant, soit 26 par tour de la manivelle. Cette armature est mobile autour d'un axe formé par les vis v.

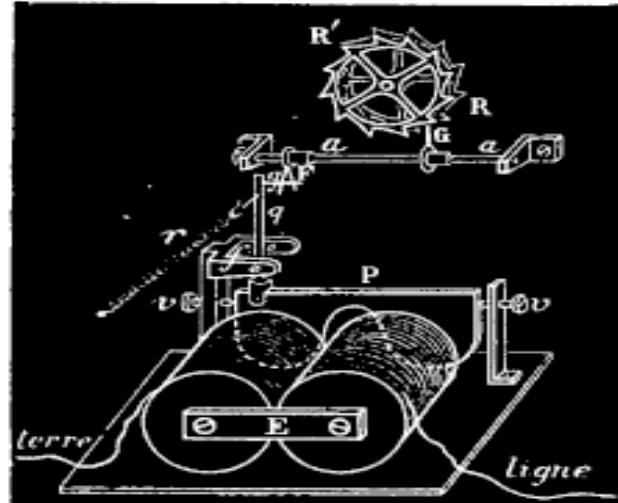


Fig. 112.

La tige verticale *q* fixée à l'armature oscille également entre des buttoirs dans la fourche *f*.

Une cheville *g*, fixée à la tige suit le même mouvement, et le communique à une fourchette *F*, et par suite à un axe *aa* dont cette fourchette fait partie.

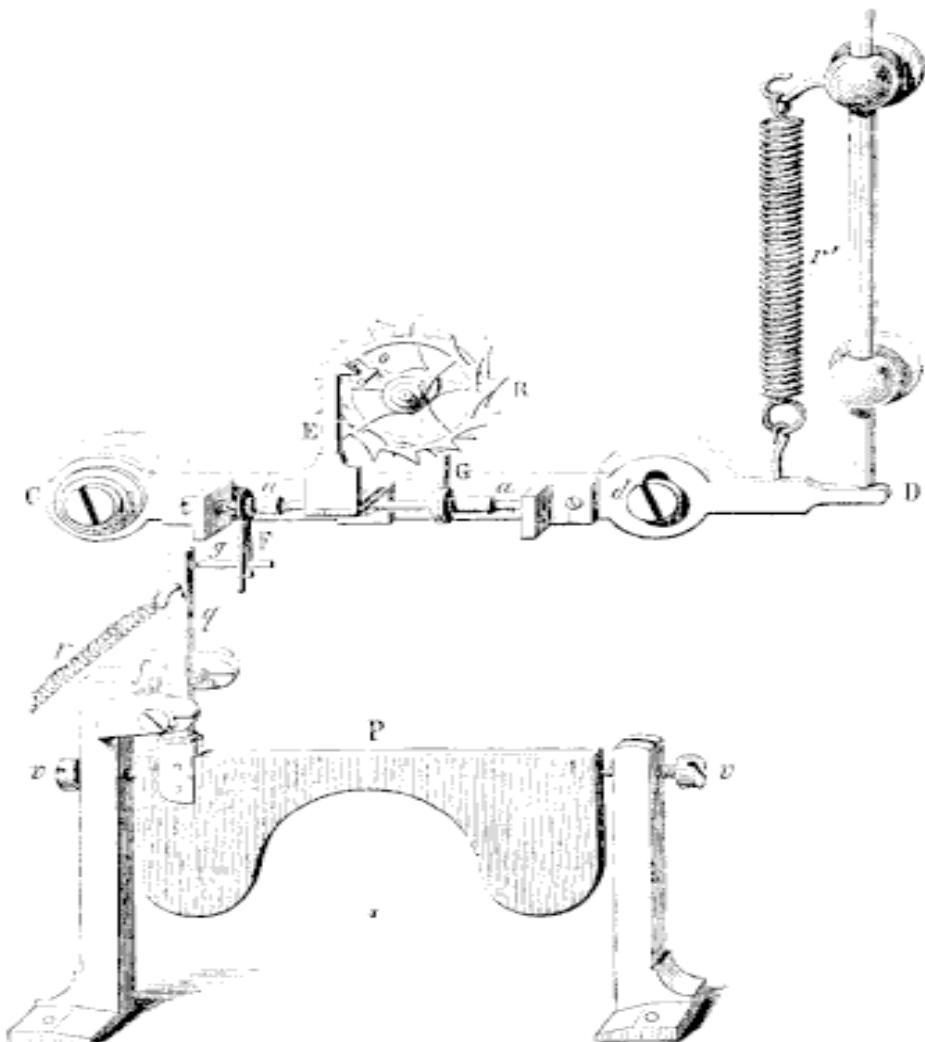


Fig. 442 bis.

Il en est de même d'une palette d'échappement *G* fixée aussi à l'axe *aa*.

Deux roues à 15 dents chacune *R*, *R'* sont solidement réunies et juxtaposées de façon que les pointes des dents de l'une arrivent juste au milieu des intervalles formées par les

pointes des dents de l'autre. Un ressort d'horlogerie tend à faire tourner le système des deux roues; mais la palette G est calée de telle façon que dans son état de repos elle arrête les dents de l'une des roues et que lorsqu'elle se meut en même temps que l'armature elle arrête les dents de l'autre. Il en résulte évidemment qu'à chaque mouvement de l'armature et par suite de la palette G , le système des deux roues tourne d'un 26° de tour.

Le mouvement de ce système se trouve ainsi concorder exactement avec celui de la manivelle du manipulateur qui fait aussi un 26° de tour en passant d'une lettre à une autre.

Si donc on fixe au centre des roues une aiguille A mobile sur un cadran disposé identiquement comme celui du manipulateur, fig. 445, le mouvement de cette aiguille concordera entièrement avec celui de la manivelle du manipulateur; elle s'arrêtera en même temps qu'elle sur les mêmes lettres. Il suffira, pour que l'on puisse lire les signaux transmis, que la personne qui manipule s'arrête sur chaque lettre pendant un temps suffisant (ordinairement très court) pour que l'œil ait le temps de percevoir l'arrêt de l'aiguille sur la même lettre au récepteur.

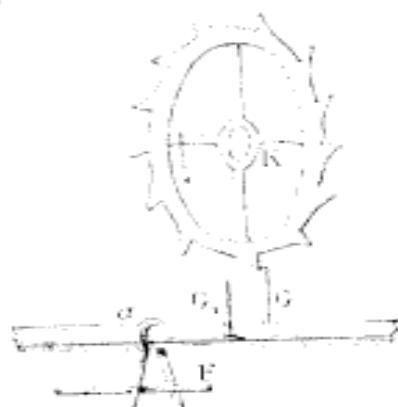


Fig. 444.

On donne souvent une autre disposition au système d'échappement formé ci-dessus par l'ensemble des roues et de la palette G . On n'emploie qu'une roue K à 15 dents; mais on dispose sur l'axe $a a$ deux palettes G et G_1 situées dans des plans différents et distantes d'un demi-intervalle entre deux dents, c'est-à-dire d'un 26° de la

circonférence de la roue. Elles sont calées de telle façon que, à l'état de repos, l'une d'elles, G , arrête une dent; quand celle-ci, entraînée par l'armature, se meut en arrière, c'est G_1 , qui vient se placer dans le plan vertical

de la roue et arrêter la dent suivante, de telle sorte qu'en définitive la roue n'a pu tourner que de l'intervalle qui sépare les deux palettes, c'est-à-dire d'un 26° de tour pour chaque mouvement de l'armature. On atteint donc ainsi le même résultat qu'avec la disposition précédente.

Les pièces que nous venons de décrire et le mouvement

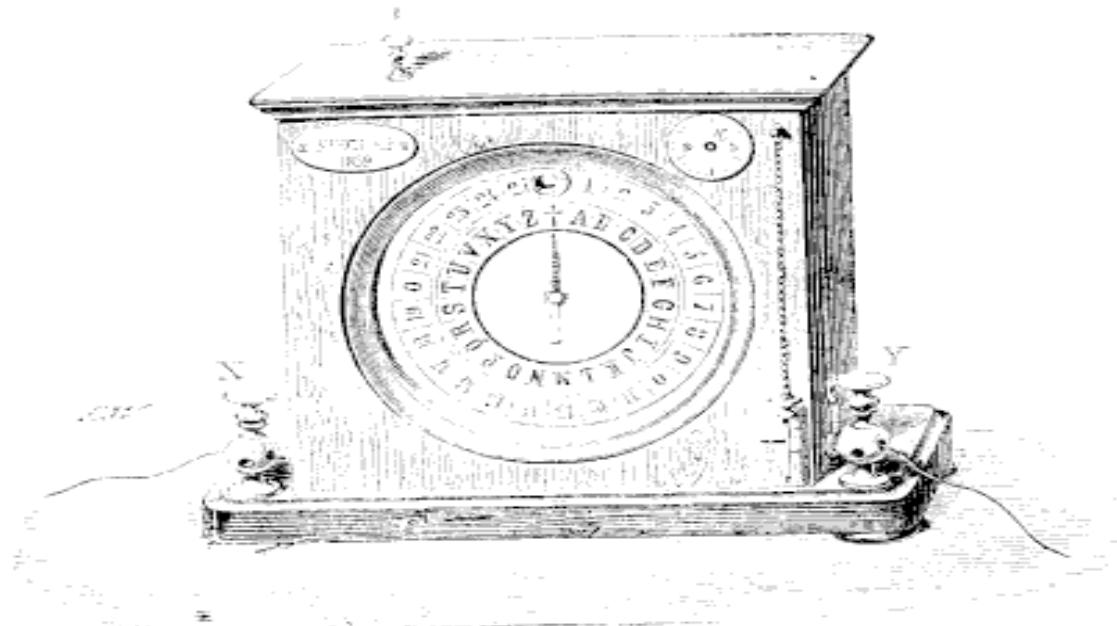


Fig. 445.

d'horlogerie sont d'ailleurs enfermés dans une boîte (fig. 445) : 2 bornes extérieures X et Y sont en communication avec les extrémités de la bobine de l'électro-aimant.

Réglage de l'appareil. — Le réglage de l'appareil d'après l'intensité du courant s'opère : 1^o en rapprochant plus ou moins l'électro-aimant de son armature ; 2^o en tendant plus ou moins le ressort antagoniste *r* dont une partie est représentée sur la figure 442 bis et qui est fixé à un levier coulé mis en mouvement de l'extérieur à l'aide d'une petite clef ; 3^o en faisant mouvoir les buttoirs entre lesquels oscille la tige *q* fixée à l'armature (fig. 442 bis) ; ce dernier réglage se fait une fois pour toutes. Les deux

autres peuvent s'effectuer de l'extérieur sans ouvrir la boîte qui renferme l'appareil.

Rétablissement du synchronisme. — Quand la transmission est régulière, nous avons dit que le mouvement de l'aiguille sur son cadran concorde parfaitement avec celui de la manivelle sur le sien; ces deux mouvements sont *synchrones*, c'est-à-dire qu'ils s'effectuent *en même temps*. Mais il arrive souvent que ce synchronisme est altéré; il est nécessaire de le rétablir instantanément, et, à cet effet, de pouvoir ramener l'aiguille au point de départ, à la croix. La fig. 412 bis représente l'un des systèmes employés pour atteindre ce résultat.

La palette G et son axe *aa* sont supportés par un levier horizontal C D, mobile autour du point C, et dont les mouvements sont limités par une vis *d* engagée dans un trou ovale; le levier est maintenu dans sa position normale par un ressort à boudin très fort *r₁*. Dans cette position un arrêt E peut laisser passer une goupille O fixée à la roue. Sur l'extrémité libre du levier repose une tige terminée par un bouton I (fig. 412 bis) qui fait saillie sur la boîte. En appuyant sur ce bouton, la palette G laisse échapper la roue qui tourne rapidement; mais l'arrêt E qui s'est incliné arrête alors la goupille O; les deux pièces sont disposées de façon qu'à ce moment l'aiguille est sur la lettre Z et la palette G entre 2 dents de la roue. Si on lâche le bouton I, la roue tournera d'un 26^e de tour, et l'aiguille passera de la lettre Z à la croix. Ce mouvement peut s'effectuer avec une très grande rapidité de façon à ce qu'on puisse souvent rétablir la concordance entre l'aiguille et le manipulateur, sans interrompre la transmission.

Transmission des chiffres. — Après la transmission de chaque mot on remet la manivelle à la croix. Si on veut transmettre des chiffres après un mot, on fait faire deux tours à la manivelle, en s'arrêtant à la croix.

Communications électriques. — La figure 415

montre clairement comment on établit les communications entre le manipulateur, la pile, le récepteur et la ligne dans le bureau où se trouve un appareil à cadran; à l'extrémité de la ligne, au bureau correspondant, le

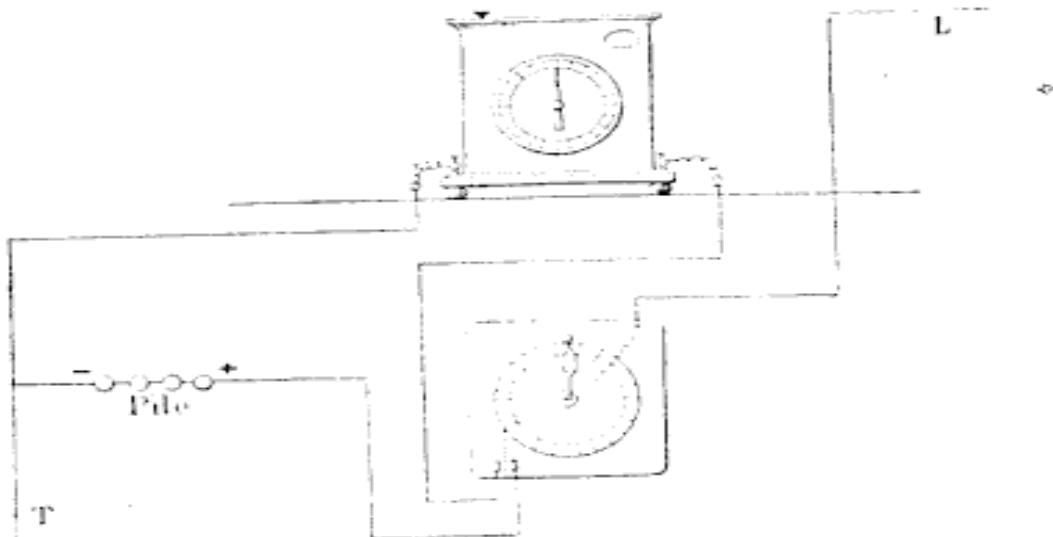


Fig. 115.

manipulateur et le récepteur sont disposés de la même manière.

Nous bornerons là la description du récepteur à cadran; notre but est de faire comprendre les dispositions principales de l'appareil; mais il est indispensable, pour en avoir une connaissance exacte, de le voir, de l'examiner, de le régler, de le faire marcher soi-même.

RÉCEPTEUR MORSE

Si nous nous reportons à la description du manipulateur Morse (page 145) nous voyons que le récepteur correspondant doit transformer en signaux un certain nombre d'émissions de courant brèves ou longues.

Il suffit d'intercaler un électro-aimant dans la ligne pour obtenir, au moyen de l'armature, une série de mouvements rectilignes concordant parfaitement en *nombre*

et en *durée relative* avec les mouvements du levier du manipulateur qui produit les émissions de courant. Un électro-aimant, tel que nous l'avons décrit plus haut (page 172), sera donc la pièce principale du récepteur Morse. Il est représenté à la droite des figures 416 et

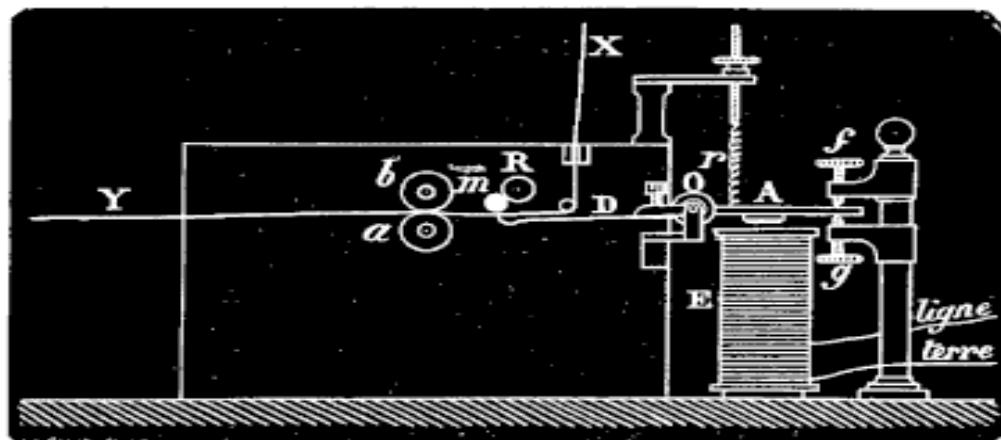


Fig. 416

416 bis : E sont les bobines, O l'axe de l'armature AA /' est le buttoir supérieur en contact avec l'armature à l'état de repos; g est le buttoir inférieur qui arrête l'armature dans son mouvement de haut en bas; r est le ressort de rappel antagoniste, tendu à l'aide d'un bouton. Les extrémités des bobines E aboutissent à 2 bornes *hh*, (voir fig. 417), et de là par des communications placées sous le socle de l'appareil, à deux autres bornes L et T (fig. 417) auxquelles sont fixés le fil de ligne d'une part, et un fil communiquant avec la terre de l'autre.

Un courant venant de la ligne suit donc le chemin suivant : la ligne, le manipulateur, les bobines E et la terre.

Pour transformer les mouvements de va-et-vient de l'armature en signaux *visibles*, on a ajouté à l'armature une lame d'acier D taillée en biseau, qu'on nomme *couteau*.

Une bande de papier XY enroulée sur le rouet R, guidée par des pièces métalliques, passe entre l'extrémité du couteau et un disque en cuivre mince m nommé *molette*,

mis en mouvement par le mouvement d'horlogerie enfermé dans la boîte B et que nous ne décrirons pas. La tranche de la molette est toujours couverte d'encre par suite de son contact permanent avec un tampon R qui en est imbibé (fig. 116).

La bande est d'ailleurs entraînée par deux cylindres

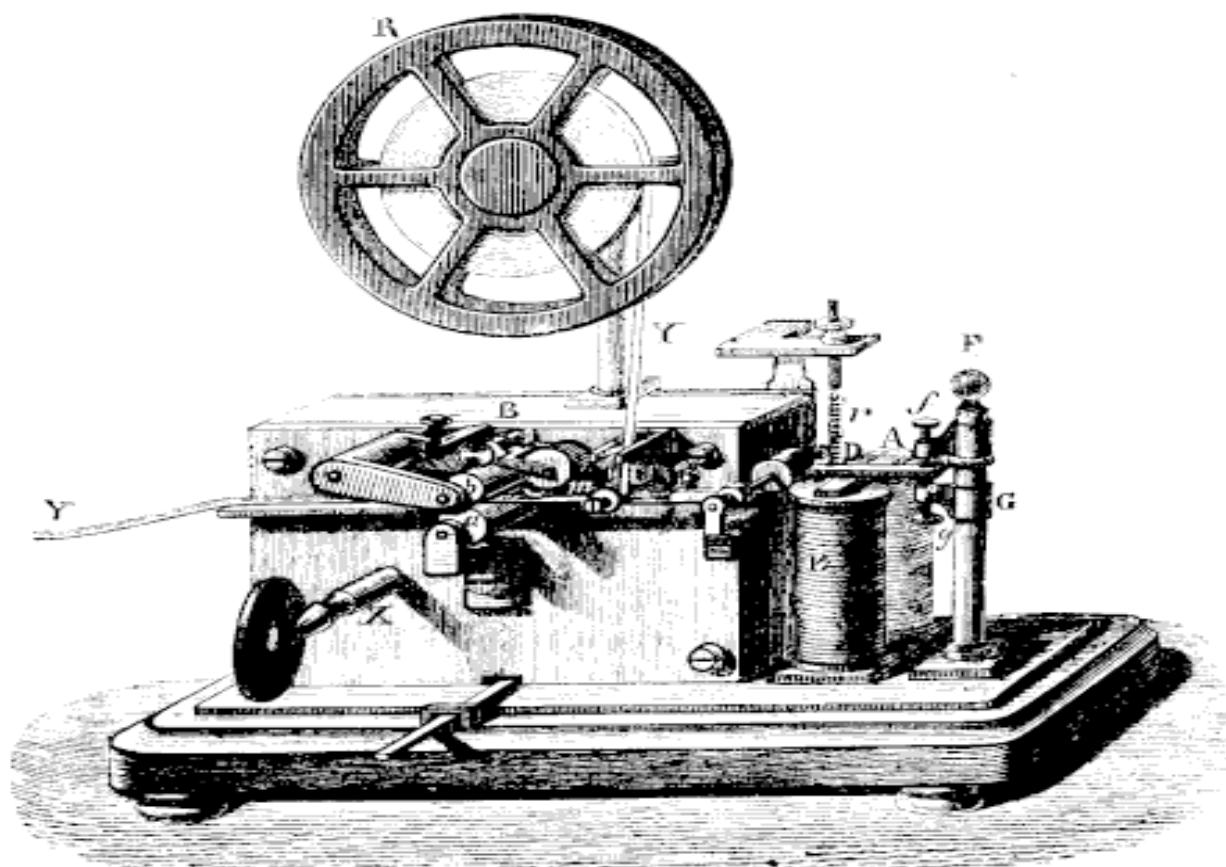


Fig. 116 bis.

b et *a*, dont le premier est mis en mouvement par le mécanisme d'horlogerie.

Une tige extérieure sert à mettre ce mécanisme en action et à produire le déroulement de la bande.

Si un courant arrive de la ligne l'armature s'abaisse, le couteau appuie le papier contre la molette ; une petite vis a permis d'ailleurs d'abaisser ou de relever le couteau de façon à ce qu'il ne produise pas en appuyant sur le pa-

pier un frottement susceptible de l'arrêter. Une trace noire ou bleue se produit ainsi sur le papier; elle est courte si l'émission du courant est brève, on l'appelle un *point*; elle est longue si l'émission est longue, et on l'appelle un *trait*.

On a constitué à l'aide de ces deux signaux l'alphabet de convention suivant :

LETTERS

a	—	—
n	—	—
b	—	—
c	—	—
d	—	—
e	—	—
é	—	—
f	—	—
g	—	—
h	—	—
i	—	—
í	—	—
l	—	—
m	—	—
n	—	—
o	—	—
ó	—	—
p	—	—
q	—	—
r	—	—
s	—	—
t	—	—
ú	—	—
v	—	—
w	—	—
x	—	—
y	—	—
z	—	—
ch	—	—

PUNCTUATION

Point,	— — — — —
Point-virgule,	— — — — —
Virgule,	— — — — —
Deux points,	— — — — —
Point interrogatif,	? — — — —
Point alinéa,	— — — — —
Point exclamatif,	! — — — — —
Trait d'union,	— — — — —
Apostrophe,	' — — — — —
Barre de division,	/ — — — — —
Parenthèse,	() — — — — —
Souligné,	<u>—</u> — — — —
Guillemets,	" " — — — —

CHIFFRES

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

SIGNAUX RÉGLEMENTAIRES

Indicatif de dépêche	---
Réception ou compris	---
(?) ou répéter	---
Correction ou pas compris	---
Final	---
Attente	---

Les lettres doivent être séparées les unes des autres par des espaces blancs et les mots par des intervalles un peu plus grands.

Exemple: *Comment recevez-vous ?*

— c — o — m — m — e — u — t — — r — e
 — c — e — v — e — z — — v — — o —
 — u — s — — f —

La concordance, le synchronisme sont complets entre les mouvements du levier du manipulateur Morse et ceux de l'armature: le bruit que font ces deux organes en frappant contre leurs buttoirs est le même, si bien que les télégraphistes exercés parviennent à lire les signaux *au son*, c'est-à-dire en écoutant le bruit de l'armature contre les buttoirs. Il en résulte que l'armature peut être considérée comme un *manipulateur* en quelque sorte *automatique*, reproduisant les mouvements du manipu-

lateur ordinaire ; nous allons voir bientôt comme on a mis à profit cette propriété.

Réglage de l'appareil. — Il s'effectue : 1^o en rapprochant plus ou moins, suivant l'intensité du courant, l'armature des noyaux à l'aide des vis *f* et *g* des buttoirs ; 2^o en tendant plus ou moins le ressort *r* ; 3^o le couteau, nous l'avons dit, nécessite en outre un réglage spécial qu'on effectue à l'aide d'une vis.

Il n'y a évidemment pas lieu, à propos du récepteur Morse, de faire les observations que nous avons faites pour le récepteur précédent, au sujet du rétablissement du synchronisme qui existe toujours, et de la transmission des chiffres.

Communications électriques. — Nous avons donné dans la planche 1 le dessin des communications établies entre deux postes desservis par un appareil Morse.

Nous décrirons tout à l'heure la colonne $I_1 P_1$ qui supporte les buttoirs de l'armature.

Nous passons maintenant à un certain nombre d'appareils qu'on peut considérer comme des récepteurs et qui fonctionnent aussi bien avec le manipulateur Morse qu'avec le manipulateur à cadran.

RELAIS

Lorsqu'une ligne télégraphique est assez longue pour qu'on puisse craindre que souvent les courants envoyés d'une extrémité n'arrivent trop faibles à l'autre extrémité, on intercale, au milieu de sa longueur par exemple, un récepteur mis par le premier courant, mais qui doit lui substituer sur la seconde partie de la ligne un nouveau courant provenant d'une nouvelle pile. Ce récepteur spécial se nomme *relais*.

Souvent aussi le relais sert à faire marcher dans le poste même où il est placé un appareil pour lequel le courant direct de la ligne serait trop faible.

Dans tous les cas le relais ne doit pas altérer la succession et la durée des émissions de courant qui lui arrivent : il doit les *transmettre* telles qu'il les reçoit ; en d'autres termes, il doit remplir simplement les fonctions d'un manipulateur marchant synchroniquement avec celui du poste qui envoie les courants.

On peut donc dire qu'un relais est *un récepteur qui est en même temps un manipulateur automatique*.

En se reportant à ce qui vient d'être dit de l'armature d'un récepteur Morse, on voit qu'un pareil récepteur est très propre à jouer le rôle d'un relais, l'armature étant l'organe qui servira de manipulateur.

Il suffit de faire communiquer la nouvelle pile au buttoir inférieur V_1 , et l'armature avec le fil L_1 qui aboutit au nouvel appareil que le relais doit animer, soit dans le poste même, soit au bout d'une longue ligne (fig. 417).

La colonne du récepteur Morse a précisément cette destination. Elle est creuse et divisée en deux parties isolées l'une de l'autre par une rondelle y en ivoire. Une tige métallique intérieure, c , communique avec la partie supérieure I_1 qui porte le butoir V ; l'enveloppe extérieure de la colonne P porte le butoir inférieur V_1 (fig. 417).

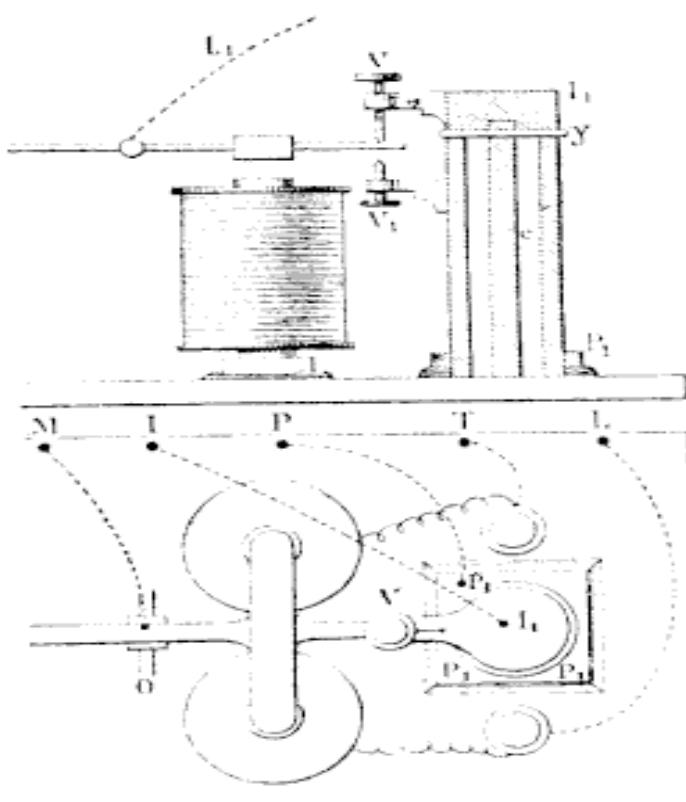


Fig. 417.

Sur le socle de l'appareil cinq bornes L, T, P, I, M ont avec les diverses parties de l'appareil les communications indiquées en pointillé sur la figure : L et T avec les extrémités du fil des bobines, comme à l'ordinaire. P où aboutit l'un des pôles de la nouvelle pile, dite pile *locale* du relais, communique avec P_1 et le buttoir V_1 . M communique avec l'axe O de l'armature par l'intermédiaire des plaques de cuivre qui forment la *masse* de l'appareil. I communique avec I_1 et le buttoir supérieur V. Cette communication nous servira plus loin ; actuellement elle est inutile. Enfin la borne M est mise en communication avec le fil L sur lequel il faut envoyer le nouveau courant.

Cela étant, on voit que tout courant arrivant de la ligne en L traversera l'électro-aimant et se perdra à la terre par T ; mais en même temps l'armature étant attirée viendra toucher le buttoir V_1 : le courant de la nouvelle pile passera alors dans cette armature, dans la masse métallique de l'appareil, et dans la ligne L_1 fixée à M. L'armature sera donc bien le manipulateur automatique dont il vient d'être question.

Relais Froment. — On obtient donc un relais en prenant un récepteur Morse où les communications ci-dessus sont établies, et en supprimant le mécanisme d'horlogerie, le couteau et tous les accessoires qui servent à la réception ordinaire. On peut de plus alléger l'armature, établir avec soin les communications à l'aide de gros fils de cuivre, et de bons ressorts de rappels : on a alors d'excellents relais tels que les a construits Froment, qui sont d'une grande sensibilité et d'un très bon usage.

On voit, d'après leur construction même, qu'ils peuvent être adaptés indifféremment à des manipulateurs Morse ou à cadran.

Il existe d'autres espèces de relais, qui ont des *armatures aimantées*, les relais Siemens, Meyer, d'Arlincourt ; mais leur description nous entraînerait hors des bornes

de ce cours élémentaire. Le relais Froment est du reste actuellement le seul qui soit d'un usage général en France.

Nous reviendrons sur les relais à propos d'un mode spécial de communications établi entre postes télégraphiques éloignés et qu'on nomme *translation*.

Parleur. — Un parleur est un relais dont la construction est simplifiée et qui sert à faire des appels qu'on distingue au son qu'ils produisent.

C'est un électro-aimant boiteux (voir page 171) dont l'armature A est fixée par une lame d'acier flexible m à une pièce métallique BC fixée à la branche de l'électro-aimant qui n'a pas de bobine : une plaque n isole d'ailleurs les deux pièces en contact.

Le butoir supérieur V est soutenu par un cadre métallique qui n'est pas représenté sur la figure. Le butoir inférieur V₁ n'existe pas : il est remplacé par le noyau même de l'électro-aimant.

L'appareil est posé sur un socle creux destiné à renforcer le son que produit l'armature en frappant le noyau.

Le ressort de rappel ordinaire est remplacé par une vis r qui presse plus ou moins sur la lame d'acier m. (On emploie aussi un ressort disposé comme celui de la fig. 440.)

Cet instrument fonctionne évidemment comme un électro-aimant ordinaire : on a indiqué sur la figure les

12.

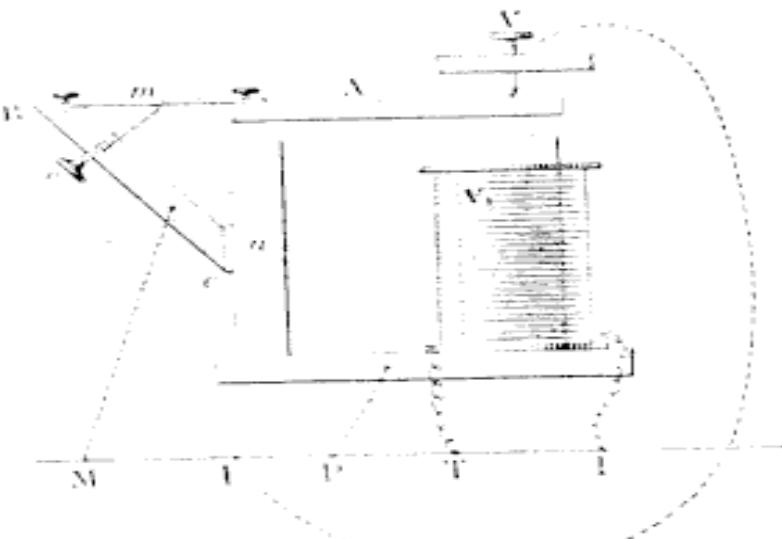


Fig. 448.

communications établies entre les diverses pièces de l'appareil et les bornes L, T, P.... pour qu'il puisse à la rigueur fonctionner comme relais. Mais il est clair que le réglage à l'aide de la vis *r* et de la lame *m* est trop grossier pour qu'un pareil relais puisse être bien sensible.

Parleur à armature aimantée (fig. 119). — Supposons l'armature d'un parleur aimantée de façon à avoir au-dessous du buttoir *V* un pôle austral *a* par exemple.

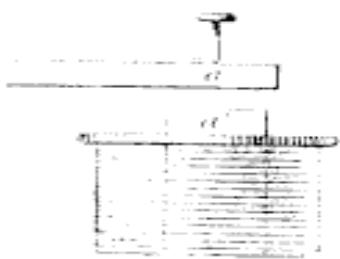


Fig. 119.

Supposons en outre qu'on fasse passer dans la bobine un courant de sens tel qu'il produise dans le noyau un pôle austral *a*₁ à la partie supérieure : l'armature sera alors repoussée au lieu d'être attirée, et elle ne pourra fonctionner que par l'*inversion* du courant, c'est-à-dire son changement de sens, car alors le pôle *a*₁ du noyau sera changé en un pôle boréal *b*₁ et l'armature sera attirée.

Les parleurs de cette nature ne fonctionnent donc que sous l'influence d'un courant de sens *déterminé*.

On peut par conséquent intercaler dans une même ligne télégraphique et dans deux postes différents si l'on veut, deux parleurs dont l'armature soit aimantée en sens contraire : on pourra appeler l'un d'eux et travailler avec lui sans déranger l'autre.

C'est ce qu'on nomme un système de *rappel par inversion de courant*, expression qui se comprend d'après ce qui vient d'être dit.

Rappel par inversion du courant. — Voici la description de l'appareil employé en ce cas.

EE' est un électro-aimant ordinaire dont les pôles sont prolongés à l'aide d'une armature en fer doux.

N est une languette mobile autour d'un axe *O* et forme le prolongement et le pôle, boréal par exemple, d'un aimant en acier *A*. Elle repose sur un buttoir *b* en face et

très près de l'armature du noyau de la bobine E , et y détermine un pôle austral s : la réaction mutuelle des pôles N et s très rapprochés maintient la languette appuyée contre le buttoir b .

D'autre part le pôle N produit sur l'armature de la bobine E' un pôle austral s mais beaucoup plus faible que s à cause de la distance.

Un buttoir b' est relié à la pile, tandis que l'aimant communique à une sonnerie semblable à celle qui va être décrite ci-après.

On voit alors : 1^o que s'il arrive par la ligne L dans l'électro-aimant un courant de sens tel que l'on ait un pôle austral en E et un pôle boréal en E' , le magnétisme du pôle s sera renforcé, celui du pôle s' sera transformé en magnétisme boréal qui repoussera alors la languette N , et pour ces deux raisons, cette languette restera appuyée sur le buttoir b . Le courant de la pile P restera isolé, la sonnerie ne fonctionnera pas.

2^o Que s'il arrive par la ligne L un courant contraire au précédent, on aura au lieu de s un pôle boréal, qui repoussera N , et au lieu de s' un pôle austral beaucoup plus énergique qui attirera beaucoup plus énergiquement le pôle N . Pour ces deux raisons, la languette quittera le buttoir b pour venir frapper le buttoir b' , et immédiatement

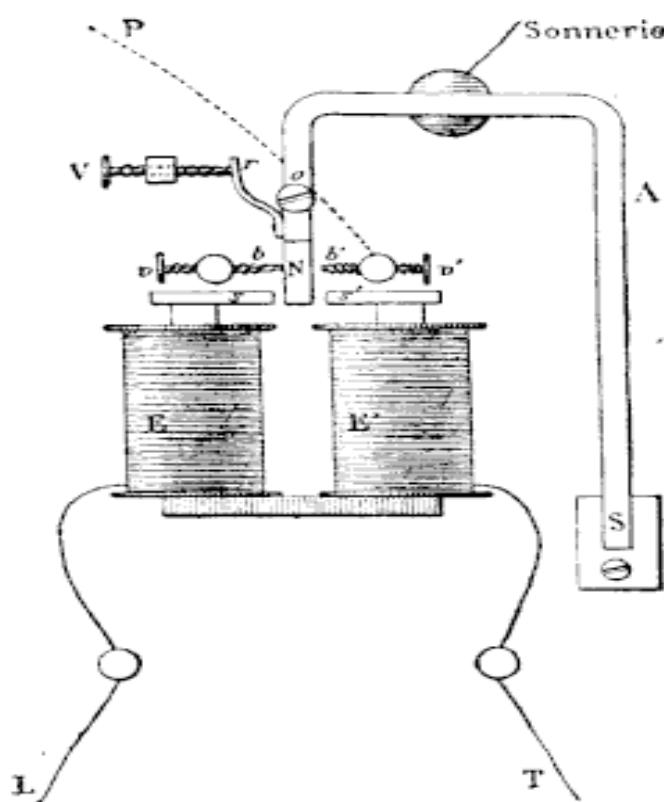


Fig. 120.

ment le courant de la pile P passera, par l'intermédiaire de N et de l'aimant, dans la sonnerie.

Le ressort r mu par la vis V, ainsi que les vis $v v'$ qui portent les buttoirs servent à régler la position et l'énergie du contact de la languette suivant l'intensité des courants qui arrivent dans l'appareil.

Nous verrons plus tard comment on dispose l'appareil dans le système de communications où il est utilisé.

SONNERIE À TREMBLEUR

Une sonnerie est un récepteur télégraphique destiné à

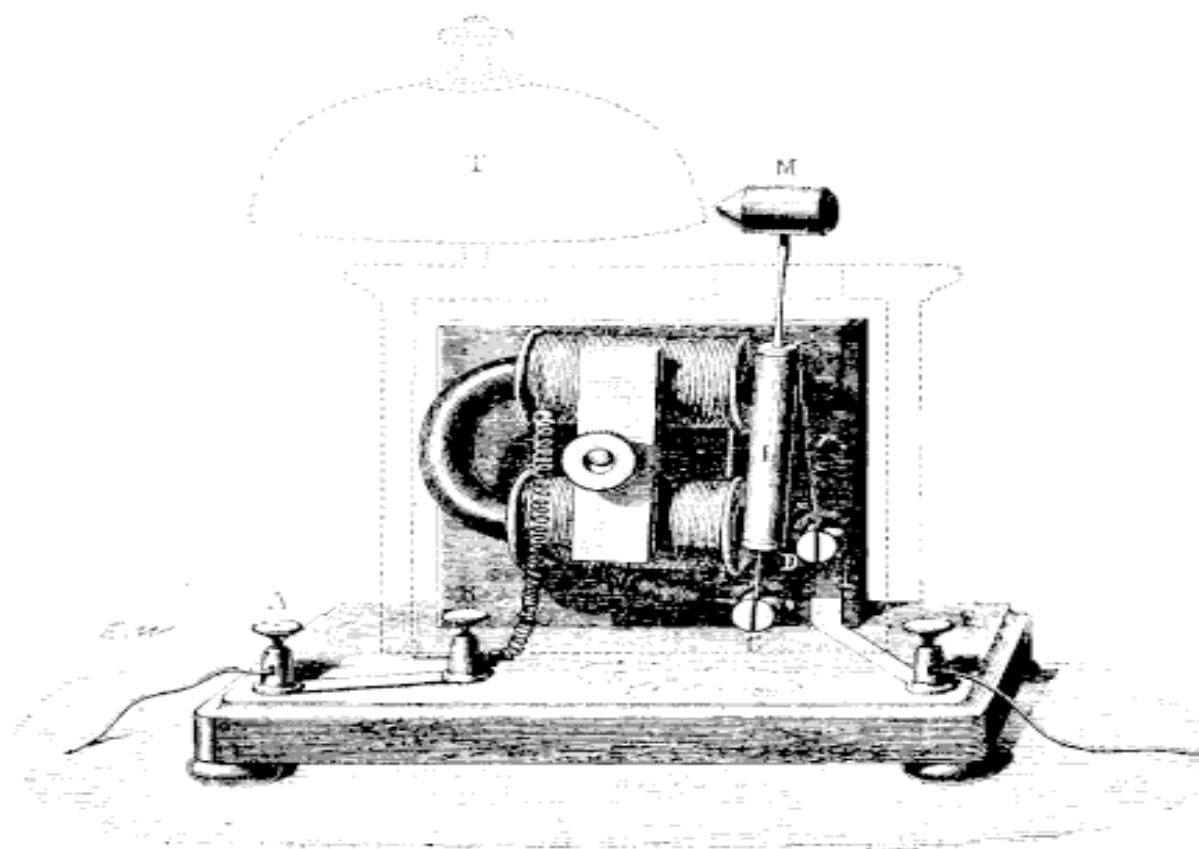


Fig. 421.

appeler l'attention par suite du bruit produit par le choc d'un marteau sur un timbre. Il suffirait pour arriver à ce

résultat de prendre un électro-aimant ordinaire et d'ajouter à l'armature un marteau léger frappant sur un timbre à chaque mouvement de l'armature. Mais on produit un bruit beaucoup plus grand en employant un électro-aimant à trembleur analogue à celui dont on a donné la théorie page 175. On lui donne habituellement la forme indiquée dans la figure ci-contre (fig. 121).

L'électro-aimant est enfermé dans une boîte en bois : l'armature L, munie d'un marteau M, est fixée par un ressort à une borne C, et repose sur un ressort en acier r. On voit qu'un courant provenant de la ligne par le bouton E ne peut arriver à l'électro-aimant sans passer par le ressort, qui joue ici le rôle du butoir V dans l'appareil de la fig. 111 : la théorie exposée à propos de cet appareil s'applique mot pour mot à celui-ci. Le ressort de rappel ordinaire est remplacé ici par l'élasticité du ressort qui fixe l'armature à la borne C.

T est un timbre sur lequel frappe le marteau M.

RÉCEPTEUR HUGUES

Le récepteur de l'appareil Hughes se compose : d'une partie électrique qui consiste dans un électro-aimant à noyaux et armature aimantée déjà décrit précédemment (page 175) ; d'une partie mécanique, composée d'organes très nombreux et très ingénieux dont nous ne décrirons que les principaux, renvoyant pour les détails pratiques aux ouvrages spéciaux¹.

Reportons-nous aux figures 91 et 95, qui représentent le manipulateur, et à la figure 122, qui représente l'appareil entier réduit à ses éléments essentiels : dans ce dernier dessin les diverses parties de l'appareil n'ont pas entre elles les proportions et relations qu'elles ont en

1. Voir par exemple le *Traité de télégraphie* de M. Blavier, l'ouvrage spécial autographié de M. Bellet sur l'appareil Hughes, auquel nous empruntons la plupart des figures relatives à cet appareil, et celui de M. Borel.

réalité; on les a disjointes et éloignées les unes des autres afin de pouvoir les rendre toutes visibles; c'est un dessin

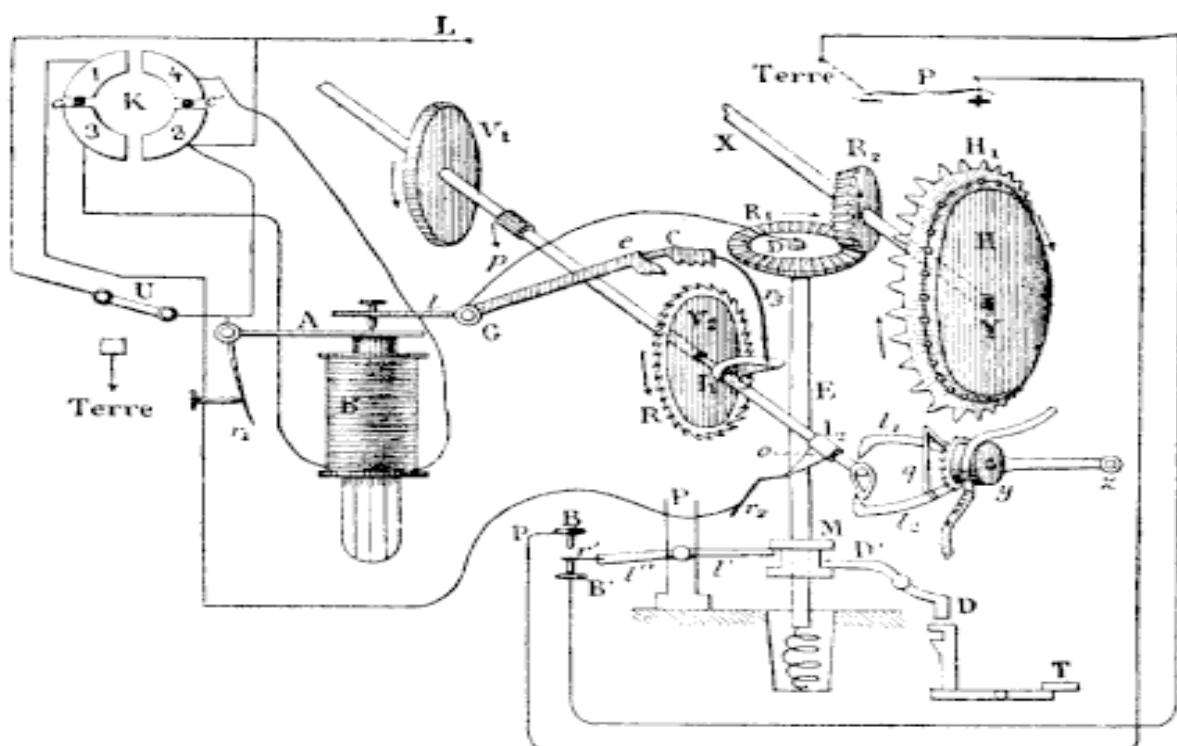


Fig. 122.

purement *théorique*, qui sera rectifié et complété au fur et à mesure de la description.

B est l'électro-aimant à armature aimantée avec son ressort antagoniste r_1 et son armature A.

1. *Levier d'échappement*, mobile autour d'un axe G fixé aux pièces massives qui supportent l'appareil, et par suite susceptible de communiquer électriquement avec tous les axes de rotation, notamment avec l'axe E du chariot (cette communication est indiquée par un trait sur la figure 122) son extrémité porte un *épaulement* e qui maintient un *cliquet*¹ c au-dessus d'une *roue de rochet*

1. On appelle *cliquet* une pièce métallique portant une ou plusieurs dents aiguës, destinée à empêcher le mouvement d'une roue dans un sens déterminé tout en le permettant dans le sens contraire.

R_1 , avec laquelle un ressort r_1 tend à le mettre en prise.

H , roue des types mise en mouvement par la roue R_2 .

H_1 , roue en acier fondu à 28 dents aiguës (voir fig. 126 et 127), séparées par des intervalles égaux, nommée roue *correctrice* : elle est calée avec H sur un même manchon M (fig. 127 et 128) et se meut en même temps qu'elle dans le sens des aiguilles d'une montre.

Nous avons indiqué (page 150) la concordance complète du mouvement du chariot et de celui de H et par suite de H_1 .

Le mécanisme qui met l'appareil en mouvement n'est pas représenté : il est analogue à celui d'une horloge à poids. Le régulateur qui n'est pas dessiné non plus est un pendule conique dont on peut au moyen d'une vis raccourcir ou allonger la tige, ce qui permet d'augmenter ou de diminuer la vitesse du mouvement *par degrés insensibles*, condition indispensable pour le réglage de l'appareil.

Supposons que les appareils placés aux extrémités d'une ligne soient réglés à la même vitesse, de façon que les mouvements des chariots et des roues à types soient tout à fait synchrones aux deux bouts, comme ils le sont séparément dans chaque poste.

Imaginons maintenant qu'à l'un des postes on soulève le goujon correspondant à la lettre B par exemple, et qu'on envoie par suite un courant. D'après les communications représentées sur la figure 122, ce courant arrive de la ligne L traverse un commutateur K^2 , puis les bobines de l'électro-aimant, puis de nouveau le commutateur ; il arrive à un ressort *isolé* r_2 , puis à une petite pièce Ω nommée *came*⁵ *correctrice* (nous verrons pourquoi tout

1. Une roue de *rochet* est une roue à dents aiguës et inclinées.

2. Ce commutateur est formé de 4 blocs de cuivre en arc de cercle 1, 2, 3, 4, qui peuvent être reliés à volonté à l'aide de chevilles en laiton c , c' ,

5. On appelle *came* un appendice métallique de formes variées

à l'heure) ; de là à l'axe qui porte cette came, par suite au massif de l'appareil, au pilier p qui supporte le levier de transmission $l' l''$, à son ressort z' , à la vis de contact B' et à la terre.

Sous l'action de ce courant, l'armature A sera brusquement repoussée et viendra choquer le levier l d'échappement. A partir de ce moment le travail *électrique* est terminé et le travail *mécanique* commence.

Ce travail mécanique consiste à effectuer successivement, mais avec une grande rapidité, les trois opérations suivantes :

1^o *Imprimer* sur une bande de papier la lettre B, qui, d'après ce que nous avons dit plus haut, doit se trouver, à l'instant même où le courant arrive, précisément au point le plus bas de la roue des types II, de même qu'elle s'y trouve au poste transmetteur ⁴.

2^o Faire avancer, *progresser* le papier, de façon que la lettre suivante ne se superpose pas à la première.

3^o Remettre au contact des noyaux de l'électro-aimant l'armature soulevée.

Décrivons d'abord les organes mécaniques qui effectuent ces opérations.

V_1 est le volant du mécanisme.

p est un *pignon* (c'est-à-dire une petite roue) mu par la roue (non représentée) du mécanisme qui est calée sur l'axe XY de la roue des types. Ce pignon *tourne 7 fois plus vite* que la roue qui le fait mouvoir, et par suite que les roues II, II₁, et le chariot.

fixé à un axe tournant, et destiné à produire sur un corps voisin de l'axe un certain effet à des intervalles déterminés et périodiques.

4. Le synchronisme des effets qui se produisent ainsi dans deux postes qui peuvent être éloignés de plusieurs centaines de kilomètres suppose que le mouvement électrique se propage *instantanément*. En réalité cette propagation n'est pas instantanée ; elle dure un certain temps ; mais sur les lignes télégraphiques aériennes même de 500 kilomètres de longueur, il n'y a pas lieu de s'en préoccuper, lorsqu'il s'agit d'appareils de transmission simples comme ceux que nous décrivons.

$V_1 V_2$, *axe du volant*, tourne continuellement comme le pignon et avec la même rapidité. Il porte la roue de rochet R qui tourne comme lui, en sens contraire des aiguilles d'une montre. L'extrémité de cet axe pénètre dans une ouverture percée au centre d'un autre axe $I_1 I_2$; mais elle tourne *librement, sans frottement* dans cette ouverture.

$I_1 I_2$, *axe imprimeur*, sur le prolongement du précédent. En l'état ordinaire il est *fixe*, quoique l'extrémité du précédent tourne à son intérieur. Il porte le ressort r_5 et le cliquet C arrêté par l'épaulement e . (Cette partie de la figure est purement théorique : voir les détails réels ci-après). Si le cliquet était mis en prise avec la roue R , on voit que l'axe imprimeur solidaire du cliquet serait immédiatement animé du mouvement de cette roue.

L'axe imprimeur porte à son extrémité I_2 les cames suivantes (fig. 422 bis) :

m , came de *dégagement* dont nous indiquerons le but tout à l'heure. (Elle n'est pas représentée sur la figure théorique).

O , came *correctrice*, tige d'acier trempé dont la section est ovale : elle est fixée à un manchon, parallèlement à l'axe imprimeur ; elle s'appuie, à l'état de repos, sur l'extrémité du ressort r_2 , dans le plan de la roue H_1 ¹.

s , troisième came dite came de *progression* du papier dont la figure indique suffisamment la forme.

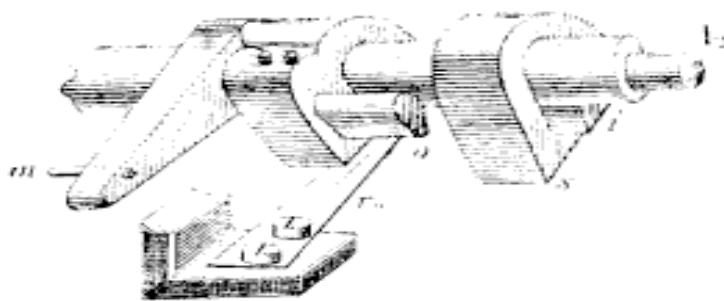


Fig. 422 bis.

1. Cette came et la roue H_1 sont en réalité très rapprochées ; mais on a été obligé d'éloigner beaucoup la roue H_1 pour la clarté de la figure théorique.

i, quatrième came dite came *d'impression*, qui a la forme d'un triangle à sommet très aigu.

La figure ci-contre donne une idée nette de la forme et de la disposition de ces cames.

y, cylindre *imprimeur* sur lequel passe la bande de papier destinée à l'impression pressée par deux ressorts flexibles : il peut tourner sur son axe.

l₁, *levier d'impression*, qui supporte l'axe du cylindre *y* et peut tourner lui-même autour d'un pivot *z* : il est terminé par une pointe recourbée dans le plan de la came d'impression *i*.

l₂, levier de progression situé dans le plan de la came de progression, *s*, et mobile aussi autour du pivot *z*.

q, crochet vertical fixé au levier *l₂*, en prise avec les dents d'une roue portée par la base du cylindre imprimeur.

Ces organes mécaniques décrits, examinons leur fonctionnement.

Sous l'action du courant qui arrive de la ligne, le levier d'échappement *l* est choqué par l'armature A : il tourne autour de l'axe *G* ; l'épaulement *e* s'abaisse, dégage le cliquet *C* qui accroche la roue de rochet *R*.

Alors : 1^o Immédiatement l'axe imprimeur *embrayé* (c'est-à-dire rendu solidaire de l'axe tournant *V₁ V₂*) tourne avec l'axe du volant. La came correctrice quitte aussitôt le ressort *r₂* (notons ce point important). La came d'impression *r* soulève brusquement le levier *l₁* et le laisse retomber instantanément à cause de sa forme aiguë : le cylindre imprimeur suit ce mouvement et applique le papier pendant un instant extrêmement court contre la lettre *B* qui se trouve au bas de la roue *H*.

L'impression est ainsi faite.

2^o A l'instant où la came *i* cesse son action, la came de progression *s* commence la sienne : elle abaisse progressivement le levier *l₂* ; le crochet *q* suit ce mouvement, fait tourner le cylindre *y* sur son axe et fait avancer le

papier d'une quantité à peu près égale à la largeur d'une lettre. Puis le levier l_2 et le crochet se relèvent, ce dernier en glissant sur les dents du cylindre.

La *progression* du papier est ainsi opérée.

5° Avant que le tour de l'axe imprimeur ne soit terminé, une sorte de came hélicoïdale qui fait partie de cet axe, dans le plan de l'extrémité du levier d'échappement, relève cette extrémité et *remet l'armature A au contact* : en même temps le cliquet C est soulevé et arrêté de nouveau par l'épaulement e. L'axe imprimeur est ainsi *désembrayé* et arrêté, pendant que l'axe du volant continue sa rotation. La came hélicoïdale n'a pu être représentée dans la figure théorique : on la voit en S dans les figures 425 et 424.

Les trois opérations indiquées, impression d'une lettre, progression du papier, remise de l'armature au contact, sont donc effectuées ainsi en un tour de l'axe imprimeur, c'est-à-dire dans un temps 7 fois moindre que celui d'un tour de chariot : c'est environ le temps que met celui-ci à passer sur 4 goujons successifs, et on voit qu'il en résulte l'impossibilité de transmettre, dans un seul tour du chariot, deux lettres successives séparées par moins de 4 autres lettres.

A partir du moment où l'axe imprimeur a terminé son tour le poste correspondant peut envoyer un nouveau courant qui produira les mêmes effets.

Détails de l'embrayage de l'axe imprimeur. — En réalité, le ressort r_3 et le cliquet C sont fixés à une plaque dite *d'échappement L* (fig. 424) qui termine l'axe imprimeur au point I_1 (fig. 425 et 424).

S est la came hélicoïdale destinée à soulever le levier

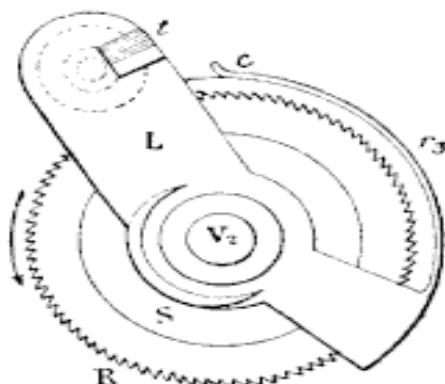


Fig. 425.

d'échappement quand les fonctions de l'axe imprimeur sont remplies.

t est un taquet fixé à la plaque *L* et destiné à être arrêté par l'épaulement *e* (fig. 124).

Le cliquet *G* fixé sur la face postérieure de la plaque

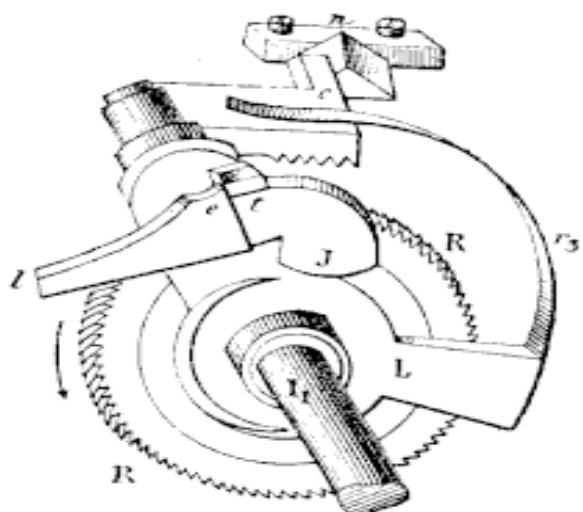


Fig. 124.

repose à l'état ordinaire sur l'une des faces d'un double plan incliné *n* vissé au massif de l'appareil : pressé par le ressort il tend à glisser sur ce plan : c'est pour cela qu'il tombe sur la roue de rochet *R* dès que l'épaulement *e* se dérobe sous le taquet *t* (fig. 124). Quand l'axe achève son tour, le cliquet, en vertu de sa vitesse acquise, remonte la face droite du

plan incliné et passe par-dessus l'arête pour prendre sa position actuelle.

Détails relatifs à l'impression et à la progression du papier. — La figure 125 représente en grand le mécanisme de l'impression et de la progression du papier. La came d'impression *i* est sur le point de terminer son action ; la came de progression *s* commence la sienne ; le crochet *g* va commencer à faire tourner le cylindre imprimeur *y* sur son axe (la moitié de ce cylindre a été enlevée sur le dessin pour laisser voir la roue dentée en prise avec le crochet).

Tel est l'ensemble des organes et actions mécaniques qui servent à la réception des signaux d'un poste éloigné.

Mais on obtient, avec le système de communications indiqué ci-dessus, un résultat plus complet : *le poste qui transmet reçoit dans son propre appareil ses transmissions mêmes.*

En effet, la roue des types et le chariot étant en mouvement, supposons qu'on soulève un goujon quelconque, celui de la lettre C par exemple. A l'instant où le chariot

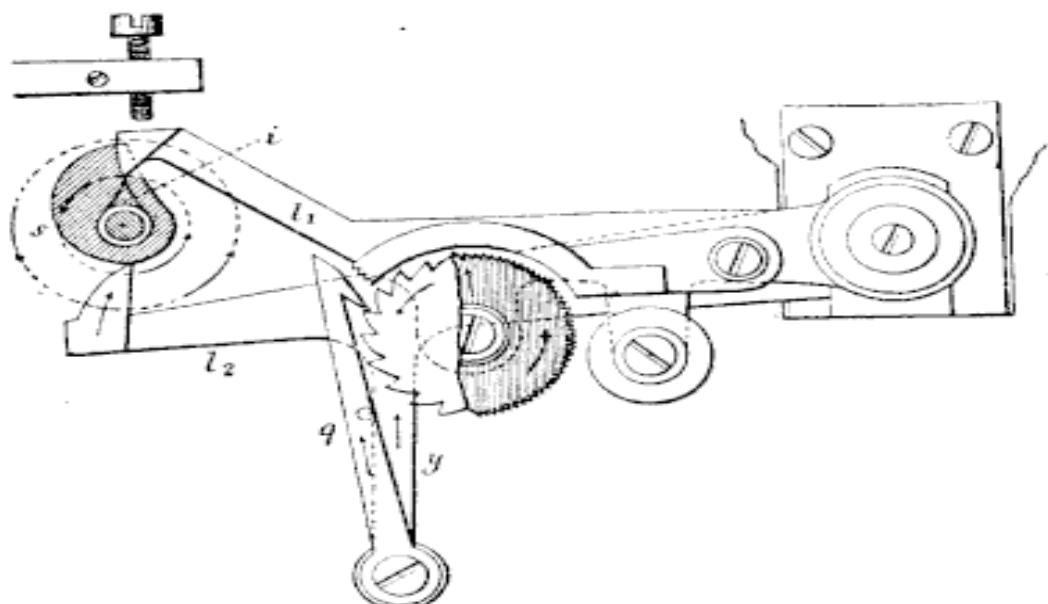


Fig. 425.

touchera ce goujon, la lettre C sera au point le plus bas de la roue des types. Le courant (voir fig. 422) suivra le chemin suivant : B, r' , p , la masse de l'appareil, les axes, la came O, le ressort r_2 , le commutateur, l'électro-aimant, l'interrupteur U, et se rendra par la ligne au poste correspondant. De telle sorte que, au passage du courant, l'armature A du poste de départ sera repoussée ; toute la série d'effets mécaniques qu'on vient de décrire s'effectuera dans ce poste et la lettre C s'imprimera sur la bande de papier.

Communications électriques réciproques dans deux postes correspondants. — Mais il faut bien se rappeler que l'électro-aimant à armature aimantée ne fonctionne que lorsque le courant y passe *dans un sens déterminé* (voir page 172). Or les courants envoyés par 2 postes marchent dans des directions opposées : pour qu'ils aient le même

sens dans les électro-aimants, il est nécessaire que les communications de la pile au manipulateur et à la terre soient interverties dans les 2 postes. L'un d'eux mettra

Fig. 422 *ter.*

son pôle négatif zinc à la terre comme l'indique la figure 422 ; l'autre, y mettra son pôle positif cuivre, comme l'indique la figure ci-contre, et on pourra admettre que son courant, lorsqu'il manipulera, passera par sa

terre, puis par celle de son correspondant, traversera d'abord ce poste correspondant en suivant le chemin Terre, r' , p le massif, E , o , r_2 , l'électro-aimant, la ligne, et lui reviendra enfin par cette ligne comme si c'était son correspondant qui manipulât.

Ce mode de communication dans lequel le courant émis par un poste traverse d'abord son propre électro-aimant présente un inconvénient assez grave. Le courant, en traversant l'électro-aimant du poste qui transmet, possède alors toute son énergie; mais en circulant ensuite sur la ligne il subit des pertes et arrive toujours au poste correspondant plus faible qu'au point de départ. De telle sorte que l'électro-aimant réglé pour la réception aurait besoin d'un nouveau réglage pour la transmission.

La présence du ressort r_2 et sa communication avec la came correctrice, celle de l'axe de l'armature A avec l'interrupteur U et le commutateur (fig. 422) permettent d'éviter cet inconvénient.

En effet quand le courant a traversé l'électro-aimant : 1^o l'armature A touche le levier d'échappement l ; 2^o immédiatement la came O quitte le ressort r_2 . Dès lors le courant arrivant par l'axe E ne peut plus passer par le ressort; il passe alors par le levier l , l'armature, l'axe de celle-ci, l'interrupteur et la ligne. L'électro-aimant

est donc, par ce fait, mis hors du circuit : le courant, trouvant en moins dans ce circuit la résistance considérable (120 kilomètres) de la bobine de l'électro-aimant, son intensité en sera augmentée, et il pourra arriver au poste correspondant, malgré les pertes sur la ligne, avec une intensité suffisante.

Réglage de l'appareil. — Il se compose de 5 parties : 1^o le réglage électrique, qui s'opère à l'aide du ressort r_1 , et d'une plaque de fer doux qu'on peut introduire plus ou moins entre la culasse de l'électro-aimant et l'aimant fixe afin de diminuer l'énergie magnétique de ce dernier ; 2^o le réglage des diverses pièces du mécanisme, dans le détail duquel nous n'avons pas à entrer ici ; 5^o le réglage du synchronisme. Pour l'effectuer, l'un des postes envoie le courant à chaque tour sur une lettre déter-

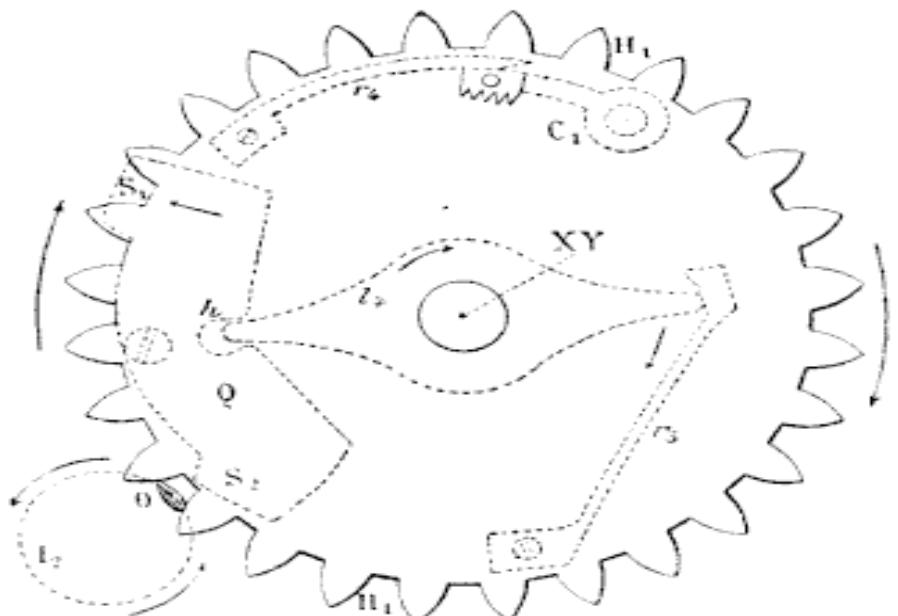


Fig. 426.

minée A par exemple, et le poste correspondant fait varier la vitesse de son régulateur jusqu'à ce que cette lettre s'imprime aussi à chaque tour.

Conservation du synchronisme. Correction. — Le syn-

chronisme établi, il est très important qu'il se conserve : l'appareil ne serait pas pratique s'il exigeait un réglage incessant. Or ce synchronisme n'est jamais parfait, et il se dérange à chaque tour : si petit que soit ce dérangement, il faut l'éviter. C'est précisément le rôle de la roue et de la came *correctrices*.

La roue correctrice H_1 et la roue des types (fig. 128) sont calées sur un même manchon M ; mais celui-ci n'est calé sur l'axe XY qu'à *frottement doux*, de telle sorte que l'axe peut tourner indépendamment des deux roues, et que lorsque l'axe et les roues sont en mouvement on peut sans difficulté *faire glisser* celles-ci à droite ou à gauche sur leur axe. Or, la came correctrice O (fig. 126) est disposée sur l'axe imprimant I_2 de façon à venir, à chaque tour de

cet axe, s'engager entre deux dents de la roue correctrice de façon à rectifier sa position (et par suite celle de la roue des types) si c'est nécessaire, en les forçant à glisser légèrement sur leur axe XY .

Mais pour que la correction par la came puisse se faire, il faut que le défaut de synchronisme n'aille pas jusqu'à un déplacement des deux roues

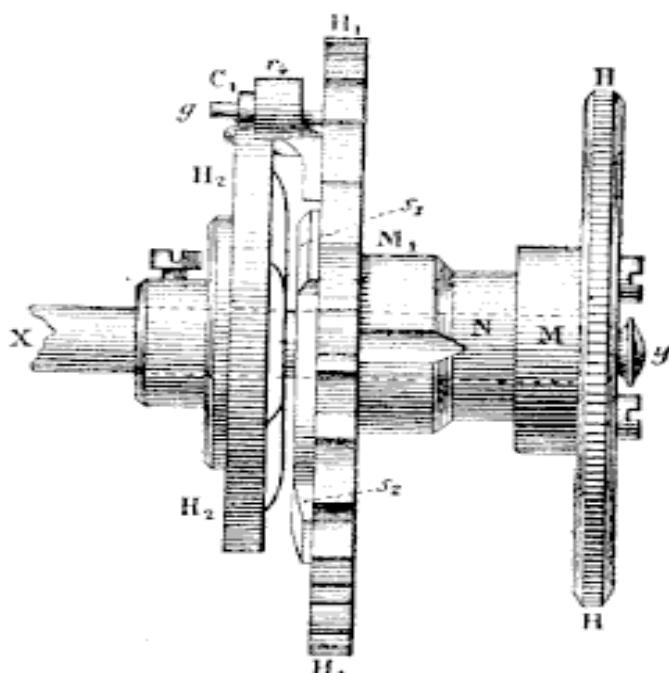


Fig. 127.

supérieur au demi-intervalle de deux dents consécutives ; alors, en effet, ou bien la came choquerait la pointe d'une dent, ce qui pourrait déterminer une rupture, ou bien la came entrerait dans l'intervalle qui suit celui où elle aurait dû entrer et elle dérangerait encore plus le syn-

chronisme. D'ailleurs ce cas se produit simplement lorsqu'on laisse tourner longtemps le chariot sans imprimer de lettres, c'est-à-dire sans mettre en mouvement l'axe imprimeur et par suite la came correctrice.

Rappel de la roue des types au blanc. — Lorsque ce cas se produit, et d'ailleurs lorsqu'on veut pour une raison quelconque ramener la roue des types à sa position de départ, qui est celle où se trouve au point le plus bas l'un des deux intervalles sans type (celui qu'on nomme *le blanc des lettres*), il faut pouvoir effectuer ce mouvement.

qu'on nomme *rappel au blanc*, immédiatement, et sans déranger en rien l'appareil.

A cet effet, l'axe XY porte derrière la roue correctrice une roue de rochet H_2 (V. fig. 426, 427, 428, 429) qui lui est solidement fixée et *tourne toujours* avec lui. La roue correctrice H_1 porte un cliquet C_1 et un ressort r_4 qui tend à le mettre en prise avec la roue H_2 ; mais à l'état de repos, une goupille g fixée au cliquet repose dans une gouttière g_1 d'une lame élastique l_5 fixée au bâti de l'appareil.

Cette lame l_5 (V. fig. 429) est écartée du bâti par l'un des quatre bras d'un levier V , u_4 , qui est taillé en biseau, et c'est ainsi que le cliquet C_1 est maintenu au-dessus de la roue de rochet H_2 .

En même temps un autre bras u_5 du même levier est

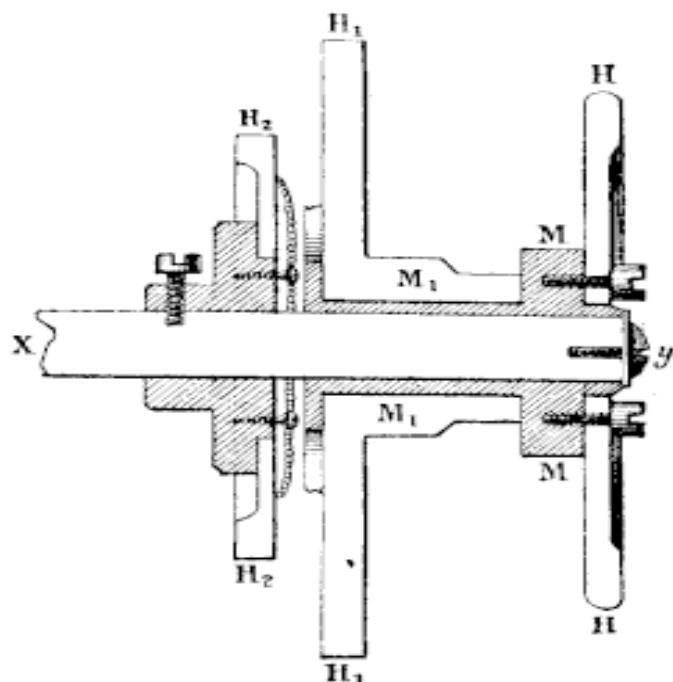


Fig. 428.

engagé dans une entaille N taillée dans la base M de la roue correctrice (V. fig. 427). Il en résulte que la roue correctrice, et par suite la roue des types, se trouvent

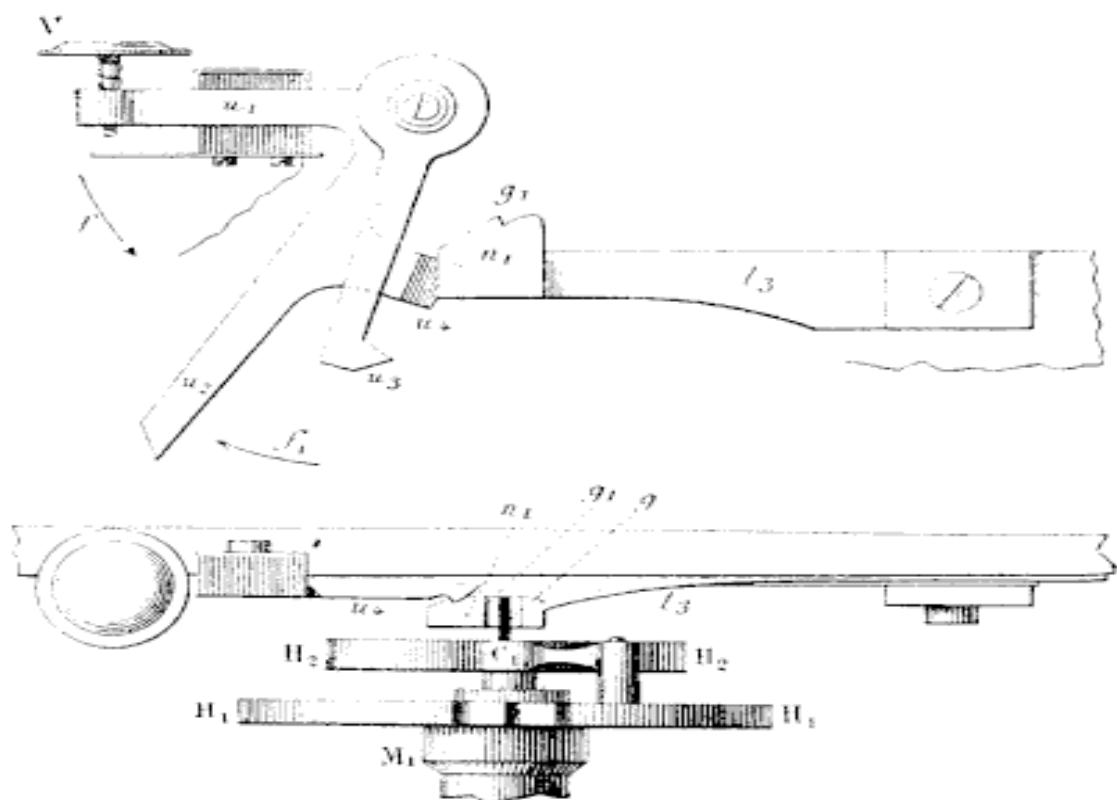


Fig. 429.

immobilisées pendant que l'axe XY et la roue H_2 tournent sans cesse à l'intérieur du manchon M .

Enfin un autre bras, u_2 , du levier U (nommé *levier de rappel au blanc*) se trouve en face de la came de dégagement m de l'axe imprimeur (V. la figure des cames ci-dessus).

Il en résulte que si on fait passer un courant dans l'électro-aimant, l'axe imprimeur commençant son mouvement, la came m frappe le bras u_2 dans le sens de la flèche f_1 ; alors le bras u_3 quitte l'encoche N ; le bras u_4 se retire; la lame l_3 se rapproche du bâti; la goupille g quitte la gouttière g_1 ; le cliquet C_1 tombe sur la roue de

rochet H_2 ; enfin la roue correctrice et la roue des types se mettent à tourner avec l'axe XY.

Si à un moment donné on veut arrêter ces roues, on n'a qu'à abaisser le premier bras u_1 du levier V; u_4 écartera la lame l_5 ; la goupille g montant sur le plan incliné n_1 se logera dans la gouttière g_1 et le cliquet sera soulevé; en même temps u_3 pénétrera dans l'encoche. La roue des types sera donc instantanément arrêtée dans sa position normale, par une opération analogue à celle de la remise de l'aiguille à la croix dans le récepteur à cadran.

Transmission des chiffres et autres signes. — Nous avons vu que la roue des types porte, entre deux lettres ou espaces vides successifs, des chiffres, signes de ponctuation et autres au nombre de 28, ce qui porte à 56 le nombre des types ou espaces vides. Si par un moyen quelconque on fait glisser la roue des types et par suite la roue correctrice d'un 56^e de sa circonférence, on imprimerà, au lieu des lettres, les chiffres ou signes: c'est ce qu'on appelle *l'inversion* des lettres et des chiffres. Cette inversion se produit à volonté au moyen de la came correctrice et d'un nouvel organe très simple ajouté à la roue correctrice, et sans que le mouvement de l'appareil soit arrêté ou même ralenti.

C'est une plaque Q (V. fig. 426) en acier, dite plaque *d'inversion*, mobile autour d'une vis fixée à la roue correctrice: elle porte deux saillies s_1 et s_2 qui peuvent remplir à tour de rôle l'intervalle entre deux dents. La position de la plaque est telle que lorsqu'on soulève le goujon correspondant à l'une des touches blanches du clavier (le blanc des lettres), la came correctrice vient frapper l'une des saillies (s_2 dans la fig. 426), la fait rentrer, et par suite fait sortir l'autre s_1 . Dans cette position on transmet les lettres.

La plaque porte une échancreure h dans laquelle s'engage la pointe d'un levier l_4 dit *levier d'inversion*, fixé au

manchon M qui supporte la roue correctrice et la roue des types.

Cela posé, supposons qu'on veuille transmettre des

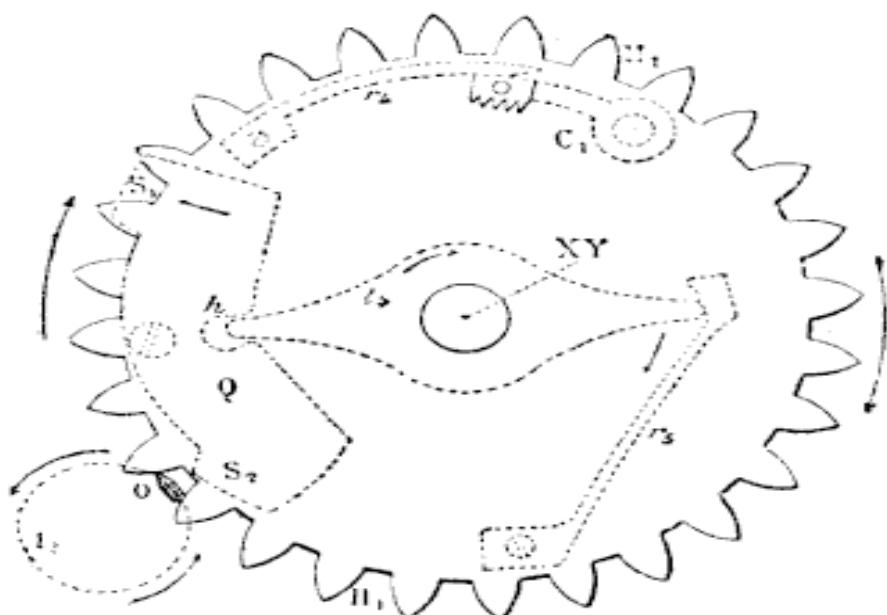


Fig. 126.

chiffres. On appuie sur le goujon qui correspond à la seconde touche blanche (blanc des chiffres) : dans le mouvement de l'axe imprimeur, la came correctrice repousse alors la saillie s_1 : la plaque Q tourne ; le levier l_1 suit ce mouvement et fait tourner également le manchon M et la roue des types sur l'axe XY. Les pièces sont faites de telle façon que cette rotation soit précisément d'un 56° de la circonférence de la roue des types. Il en résulte que tous les signes subséquents imprimés seront des chiffres. Quand on veut ensuite revenir aux lettres, on abaisse préalablement la touche blanche des lettres.

Un ressort r_3 fixé à la roue correctrice porte 2 coches dans lesquelles s'engage le levier d'inversion dans ses mouvements, et qui le maintiennent dans la position qu'il occupe jusqu'au mouvement suivant.

Nous bornerons là ce que nous avons à dire de l'appareil Hughes ; notre but ne devait être ici que de donner une idée générale de son fonctionnement, aucune description ne pouvant d'ailleurs suppléer à la vue et à l'examen attentif d'un appareil aussi complexe.

RÉCEPTEUR DES TRANSMISSIONS SUR LES LIGNES SOUS-MARINES

Ce récepteur n'est autre chose que le galvanomètre de M. Thomson déjà décrit (page 144) et muni de sa

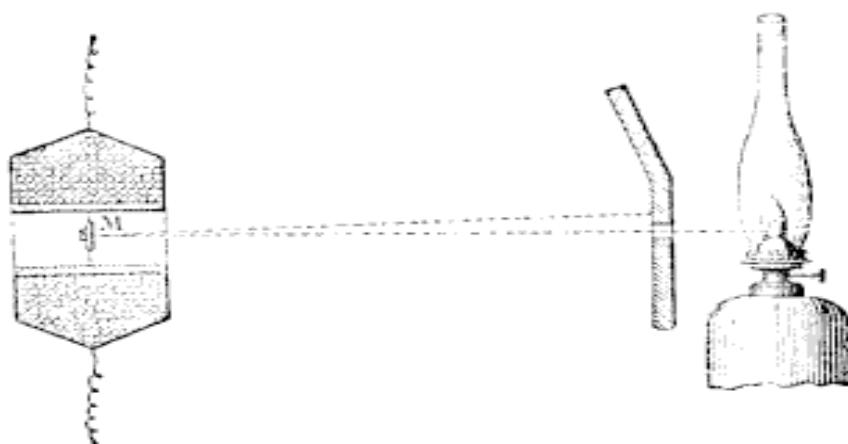


Fig. 84.

lampe et de son échelle divisée (V. fig. 84) qui est remplacée ici par un écran en verre dépoli.

Lorsque avec le manipulateur inverseur décrit page 151 (fig. 94) on envoie des courants positifs ou négatifs, le miroir du galvanomètre tourne dans deux sens inverses, et l'image de la flamme de la lampe effectue de petites oscillations vers la droite ou vers la gauche de l'écran. Il suffit alors de convenir qu'une oscillation à gauche, par exemple, représentera un point de l'alphabet Morse, et une oscillation à droite un trait, pour établir une correspondance télégraphique.

Ce système suffit sur des lignes relativement assez courtes, telles que celles qui traversent la Méditerranée,

entre Marseille et Alger, par exemple. Mais il est insuffisant sur de longues lignes comme les transatlantiques. On emploie alors un mode de transmission plus complexe dont l'exposé ne saurait trouver place dans un livre très élémentaire.

RÉCEPTEURS MICROPHONIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Le récepteur *microphonique*, c'est-à-dire celui qui reçoit les courants d'intensité variable d'un microphone ou d'un téléphone à pile, n'est autre chose qu'un téléphone comme celui de Bell ou tout autre analogue (fig. 96), et dont les fils de la bobine V et V' sont reliés aux deux fils de la ligne, ou l'un à la ligne s'il n'y en a qu'une, l'autre à la terre.

Les courants reçus dans la bobine B du récepteur mo-

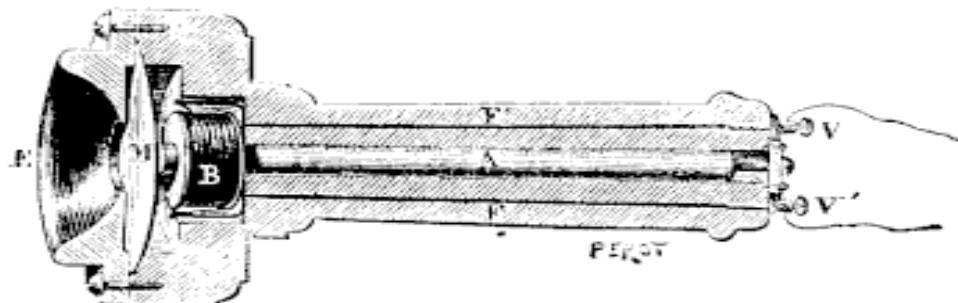


Fig. 96.

disent d'une manière variable l'intensité de l'aimantation du noyau A , et produisent sur la plaque M des actions dont l'intensité varie d'une manière analogue à celle des courants eux-mêmes et de l'aimantation du noyau qui en résulte. De là, des vibrations de la plaque, qui reproduisent les sons et les articulations émis devant le microphone ou le téléphone à pile *manipulateur*, et qui sont transmis par l'air à l'oreille.

Le timbre de la voix se trouve ainsi un peu altéré, mais cela ne nuit guère à la correspondance.

Au téléphone récepteur doit être jointe une sonnerie

ou un avertisseur quelconque auquel on peut relier la ligne à l'aide d'un commutateur convenable (V. plus loin, fig. 456, 457).

Le récepteur *téléphonique* n'est autre chose qu'un téléphone semblable à celui qui sert de manipulateur (fig. 96).

Les courants induits d'intensité variable produits dans le téléphone manipulateur, arrivant dans la bobine du téléphone-récepteur produisent sur lui un effet inverse, identique à celui que nous venons d'indiquer dans le récepteur précédent.

Il en résulte un système télégraphique des plus simples, car il n'y a plus de pile (les vibrations produites par la voix en tiennent lieu), et le récepteur peut servir de manipulateur alternativement. Cependant il vaut mieux pour la facilité et la rapidité de la correspondance avoir un téléphone-récepteur, constamment à l'oreille, pendant que la bouche reste constamment aussi en face du téléphone-manipulateur (V. page 248).

SIXIÈME SECTION

LA TERRE, AU POINT DE VUE ÉLECTRIQUE

On a jusqu'à présent suivi la marche d'un courant depuis son origine, la pile, jusqu'au récepteur, et on a successivement étudié les divers appareils interposés dans le circuit électrique, manipulateur, boussole, ligne, récepteur.

Quel que soit le système télégraphique adopté, le courant, après avoir traversé tous ces appareils, finit par suivre un conducteur mis en communication directe avec la terre.

D'autre part un des pôles de la pile est mis également en communication avec le sol. Tout circuit télégraphique se termine ainsi aux deux extrémités à la terre.

Quel est le rôle exact de la terre dans ce circuit?

Tout ce que nous avons vu jusqu'ici prouve manifestement que l'ensemble du circuit et de la terre forme un circuit *fermé*, de telle sorte qu'elle joue un rôle analogue à celui d'un conducteur métallique.

Il est facile de le démontrer directement.

Nous avons caractérisé l'existence d'un courant dans le circuit extérieur d'une pile (voir page 80) de trois manières : 1^o en interposant dans ce circuit un voltamètre; 2^o en interposant une dissolution d'un sel; 3^o en interposant une boussole. Nous avons vu alors le courant

décomposer l'eau et le sel en leurs éléments et dévier l'aiguille aimantée de la boussole.

Si on essaie de refaire les mêmes expériences en employant la disposition indiquée dans la figure 150 ci-contre, c'est-à-dire en interposant en M soit un voltamètre, soit une dissolution métallique, soit une boussole, et en faisant aboutir à la terre T et T_1 les deux extrémités du circuit, on trouve les mêmes résultats; les décompositions chimiques et la déviation s'opèrent de la même manière.

Les choses se passent donc comme si la terre remplaçait un fil métallique qui irait de T en T_1 ; et quelle que soit l'explication de ce fait, on est autorisé à raisonner sur la terre comme sur un conducteur métallique transmettant l'électricité.

Tâchons de préciser davantage, et, pour cela, revenons en arrière.

Nous avons dit (page 68) que la terre qui est toujours chargée d'électricité avait une tension ou potentiel électrique qu'on prenait comme terme de comparaison pour les tensions, analogue au zéro du thermomètre pour les températures, au niveau de la mer pour les hauteurs.

Nous avons vu également (page 68 et suivantes) qu'à la surface de contact du zinc et de l'acide dans un élément de pile il se produisait sur le zinc une tension électrique négative, c'est-à-dire plus petite que celle du sol, et sur l'acide ou le cuivre une tension positive, c'est-à-dire supérieure à celle du sol, et égale à la précédente. Il en

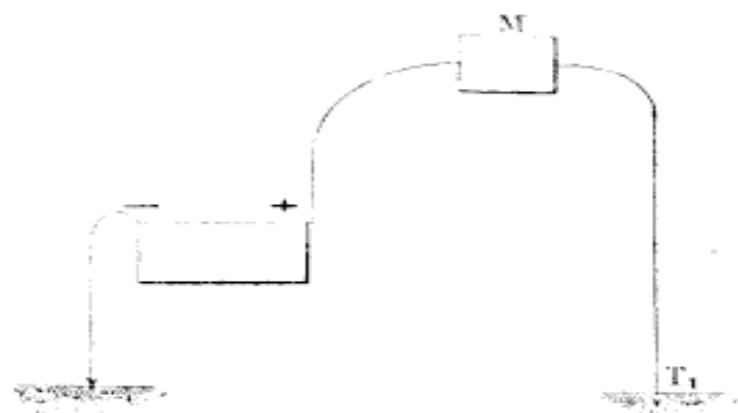


Fig. 150.

est de même si au lieu d'un élément de pile on considère une pile entière.

TENSION OU POTENTIEL AUX DIVERS POINTS D'UN CIRCUIT

[A] **Pile isolée.** — 1. Soit P un élément de pile ou une pile : C le pôle cuivre, Z le pôle zinc. Convenons de représenter sur une ligne horizontale XY les points où la tension électrique est égale à celle de la terre. Convenons également de représenter les tensions positives ou supérieures à celles de la terre par des lignes perpendiculaires à XY et *au-dessus* de cet axe; les tensions négatives ou inférieures à celle du sol par des lignes *au-dessous* de XY (fig. 454).

On peut alors représenter la tension positive au pôle

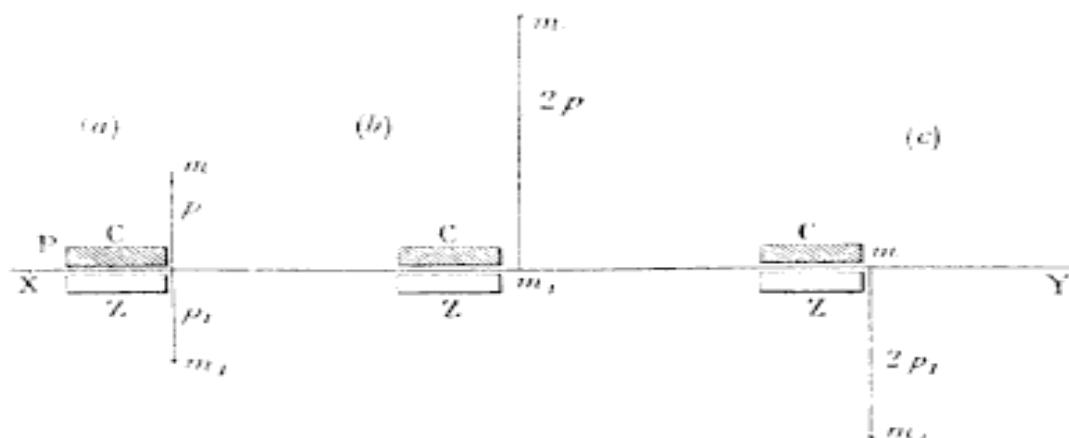


Fig. 454.

cuivre par une ligne p d'une certaine longueur et la tension négative au pôle zinc par une ligne p_1 d'une longueur égale (fig. a).

La différence de tension ou potentiel aux deux pôles sera alors représentée évidemment par la différence de niveau des deux extrémités m et m_1 des lignes p et p_1 , c'est-à-dire par la longueur $m m_1$, qui est égale à deux fois p ou deux fois p_1 .

II. — Supposons qu'on fasse communiquer le pôle zinc avec la terre.

Par suite de la différence de tension p_1 entre le zinc et la terre, il s'établit un courant instantané de la terre au zinc : la tension de celui-ci devient égale à celle de la terre, et le point m_1 vient sur la ligne XY.

Mais, en même temps, l'expérience prouve que la tension positive du cuivre devient subitement double et on doit la représenter par une ligne mm_1 double de p (fig. b).

La différence de tension entre le cuivre et le zinc reste d'ailleurs toujours la même, égale à deux fois p .

III. Supposons qu'on fasse communiquer le pôle cuivre avec la terre.

La tension du cuivre tombe à zéro, le point m vient se placer sur XY (fig. c) ; et l'expérience prouve que la tension négative du zinc devient immédiatement double.

La différence de tension reste toujours égale à deux fois p_1 , ou deux fois p , ce qui est la même chose.

Ces expériences sont très délicates ; elles exigeraient, pour un seul élément, l'emploi d'instruments spéciaux très précis (tels que l'électromètre de M. Thomson) ; mais en prenant une pile d'un grand nombre d'éléments *accouplés en tension*, on peut faire les expériences ainsi qu'on l'a indiqué précédemment dès le début de ce livre (voir page 62).

[B] **Pile avec circuit extérieur ordinaire.** — Supposons le circuit extérieur de la pile P formé simplement d'un fil $a b c$, dont b est le milieu (fig. 452).

Nous savons qu'en C il y a une tension positive p , et en Z une tension négative p_1 égale à p . Le mouvement électrique permanent qui se produit dans le circuit n'altère pas ces tensions.

Cherchons la distribution des tensions ou potentiels le long du circuit. Prenons par exemple un point quelconque d ; mettons-le en communication avec la terre par l'intermédiaire d'un fil f traversant une boussole g . Par

suite de la différence de potentiel entre le point d et la terre, un courant traversera la boussole qui sera déviée. En faisant glisser le point d'attache d depuis a jusqu'à b , on aura ainsi des courants *de même sens*, mais d'intensité

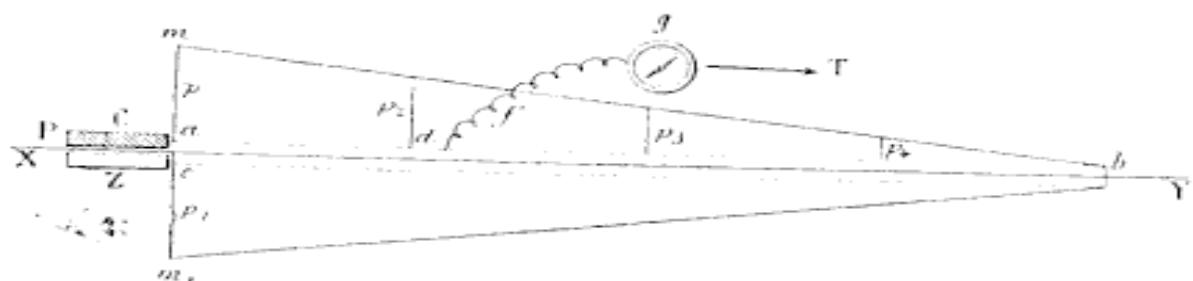


Fig. 152.

décroissante. L'intensité I de ces courants est proportionnelle à la différence D entre la tension aux divers points et celle de la terre, puisque la résistance du fil f est toujours la même. En effet on a d'après la formule des intensités (voir page 124) $I = \frac{D}{f+t}$, t étant la résistance constante de la terre. On déduit de là : $D = I \times (f+t)$. La quantité $f+t$ restant invariable, on voit bien que D varie proportionnellement à I . Le sens de la déviation indique que les courants vont des points a et b vers la terre et que par conséquent les tensions de a et b sont plus grandes que celle de la terre, ou positives.

On voit aussi qu'au quart de la ligne ab la tension p_2 est les trois quarts de p ; à la moitié, la tension p_3 est la moitié de p ; aux trois quarts, la tension p_4 est le quart de p ..., etc. Il en résulte, d'après les principes de la géométrie, que les extrémités des lignes $p_1, p_2, p_3, p_4...$ sont sur une même ligne droite mb .

Au point b , il n'y a pas de courant : la tension est celle de la terre.

De b en c , si on fait les mêmes expériences, on trouve des courants de sens contraire aux précédents ce qui indique une tension plus petite que celle de la terre ou

négative, et l'on trouve de la même manière que les tensions sont représentées par la ligne droite bm_1 .

Les deux lignes droites mb et bm_1 représentent donc l'ensemble des tensions aux divers points du circuit, et c'est la différence de tension mm_1 qui détermine la production du courant qui circule dans la ligne abc . Quant à l'intensité de ce courant elle est *la même partout* (page 121), et égale comme nous l'avons dit (page 125) au quotient de mm_1 par la résistance totale de la pile et du circuit.

[C.] **Pile avec un pôle à la terre, l'un des points de la ligne étant aussi à la terre.**—Supposons le pôle zinc de la pile à la terre, ainsi que le point *b* de la figure précédente (fig. 455).

Dans ce cas, la tension est nulle en c ; la tension est doublée en a ; elle est nulle en b . La ligne mb représente les tensions aux divers points de ab . Sur la partie bc la tension est nulle comme aux extrémités.

Le courant est déterminé par la différence de tension

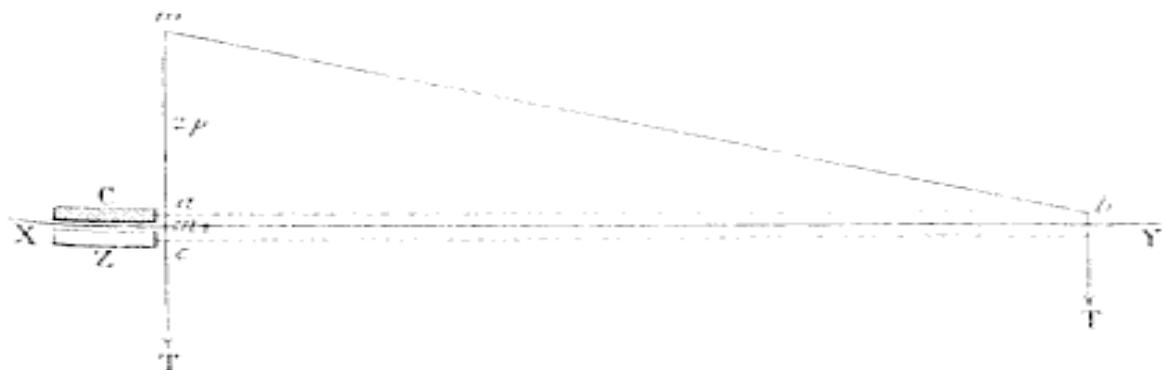


Fig. 153.

ou potentiel mm_1 égale à celle du cas précédent : la présence de la portion bc de la ligne n'influe donc en rien sur cette différence. A ce point de vue on peut supprimer bc , en laissant les communications de b et de z avec la terre.

Mais au point de vue de l'intensité du courant sur la portion *ab* qui reste, cette suppression est avantageuse,

parce que la résistance de la terre entre *b* et *c* est beaucoup plus faible que celle d'un fil métallique de même longueur dans le cas où cette longueur dépasse une dizaine de kilomètres. Il en résulte donc une augmentation de l'intensité qui, nous l'avons vu (page 122 et suivantes), est d'autant plus grande que la résistance du circuit est plus petite.

Ce cas est celui qui se présente en télégraphie, et l'on s'explique ainsi les avantages qu'on a obtenus en n'établissant qu'un fil entre deux stations *a* et *b*, supprimant le *fil de retour bc*, et le remplaçant par une communication avec la terre en *b* et à l'un des pôles de la pile.

Dans le cas où ce serait le pôle cuivre qu'on aurait mis à la terre, au lieu du pôle zinc, on aurait une figure semblable à la précédente, mais au-dessous de l'axe XY. Les conclusions seraient les mêmes.

Les considérations précédentes paraissent propres à montrer que les choses se passent dans nos circuits télégraphiques *comme si* la terre jouait le rôle d'un conducteur métallique. On ne prétend pas par là affirmer qu'il en est *réellement* ainsi, mais bien que tous les faits actuellement connus s'expliquent très bien à l'aide de cette assimilation.

D'après cet ordre d'idées on peut admettre que quand un poste A transmet à un poste A_1 , le zinc de sa pile étant à la terre, le courant [qui va toujours, à l'extérieur de la pile, du cuivre au zinc comme on l'admet ordinairement (voir page 79)] va du cuivre à la ligne à travers le manipulateur, passe dans le récepteur du poste A_1 , puis à la terre T_1 , revient par le sol à la terre T du poste A, et de là au zinc de la pile. Il en résulte dans la boussole des postes A et A_1 une déviation dans un certain sens.

Si au contraire c'est le cuivre qui est à la terre au poste A, comme l'indique la figure 154 ci-contre, on doit admettre que le courant suit le chemin indiqué par les flèches, savoir : la terre en T , TT_1 , le récepteur du poste

A_1 , la ligne, et le zinc de la pile. Et ainsi la déviation des boussoles doit changer de sens; c'est ce que l'expérience vérifie en effet.

Cette manière de concevoir le rôle de la terre dans la



Fig. 154.

transmission de ce qu'on nomme un *courant positif* quand c'est le zinc qui est à la terre, et *négatif* quand c'est le cuivre qui communique avec le sol, est très commode dans la plupart des cas : nous nous en sommes déjà servis pour expliquer ce qui se passe par suite de l'inversion des communications dans deux postes desservis par des appareils Hughes (voir page 202).

Les avantages que présente la communication des appareils télégraphiques avec la terre, ne peuvent être réalisés pratiquement et réellement que si cette communication est parfaitement établie.

Il faut pour cela : 1^o que les conducteurs qui relient les appareils à la terre n'offrent pas de résistance sensible; c'est pourquoi on les établit à l'aide de sortes de larges câbles en fils tressés de fer ou de cuivre; 2^o que ces conducteurs soient plongés dans une partie du sol aussi conductrice que possible. Ce qu'il y a de mieux à cet égard, c'est de se servir d'une eau courante si on en a à sa disposition; sinon de relier les *fil de terre* à des conduites d'eau ou de gaz : à défaut de ces conduites on peut les plonger dans un puits intarissable.

Ce sont là les seuls moyens permettant de considérer comme nulle la résistance de la terre. Sans cela, non

seulement on perdrait les avantages de la suppression du fil de retour, mais encore il pourrait en résulter soit immédiatement, soit à la longue, des perturbations dans le travail télégraphique. C'est ce que nous verrons un peu plus loin.

SEPTIÈME SECTION

LE TRAVAIL TÉLÉGRAPHIQUE

Après avoir étudié séparément ainsi que nous l'avons fait les divers organes télégraphiques; après avoir indiqué les principes scientifiques sur lesquels repose leur construction et leur usage, la télégraphie théorique pourrait être considérée comme terminée. Mais, d'une part, la mise en œuvre de ces organes réunis, qui constitue le travail télégraphique, révèle la nécessité d'instruments dont nous n'avons pas encore parlé, tels que les commutateurs et les paratonnerres; d'autre part les conditions simples du circuit dont nous avons parlé jusqu'ici ne pourraient satisfaire aux besoins complexes de la correspondance télégraphique; de sorte qu'il a fallu imaginer divers *systèmes* de circuits, ou de *communications* dont nous ne pouvons nous dispenser d'indiquer sommairement les principaux. C'est ce que nous allons faire dans la dernière section de ce cours.

TRAVAIL TÉLÉGRAPHIQUE RÉGULIER

SYSTÈMES DIVERS DE COMMUNICATION

Le travail télégraphique est régulier lorsque la transmission des courants et leur réception n'offrent aucune

difficulté, lorsque les boussoles qui servent en quelque sorte d'*indicateurs* de ce travail éprouvent leur déviation normale ordinaire dans le sens déterminé par le sens même du courant. Ce sens et cette déviation doivent être soigneusement notés : nous les appellerons sens et déviation *normaux*.

COMMUNICATION DIRECTE ENTRE DEUX POSTES

Nous avons donné dans la planche 1 un dessin représentant la communication directe ordinaire entre deux postes. Après tout ce qui a été dit précédemment, ce dessin n'a pas besoin d'autre explication.

Interposition d'un double relais. — Lorsque la distance entre les deux postes est trop considérable pour que le courant émis par l'un puisse arriver à l'autre avec une intensité suffisante, ou bien lorsque l'intensité des courants s'affaiblit accidentellement, on interpose en un point du circuit un relais.

Nous avons donné (page 186) la théorie du relais et sa construction. Si on établit l'un des côtés de la ligne sur la borne L (voir fig. 117) et l'autre côté sur la borne M du relais, on voit que, le poste de droite transmettant, le courant de la pile locale du relais passera par le point M sur la portion gauche de la ligne.

Mais la communication inverse ne pourrait avoir lieu.

Il est nécessaire de joindre un second relais au premier. On les dispose alors côté à côté sur une même planchette, comme l'indique la figure 155 ci-contre qui représente un relais-double Froment.

La figure inférieure indique les communications. Les boutons M et M₁ des deux relais sont mis en communication avec les deux portions de la ligne : l'intérieur des colonnes I et I₁ de chaque relais communique avec le bouton L ou L₁ de l'autre.

Dans ces conditions, si on se reporte aux autres com-

munications indiquées pages 487 et 488 on se rend compte du fonctionnement de l'appareil.

Quand le poste A travaille, son courant arrive en M, va par l'armature à l'intérieur I de la colonne; de là au

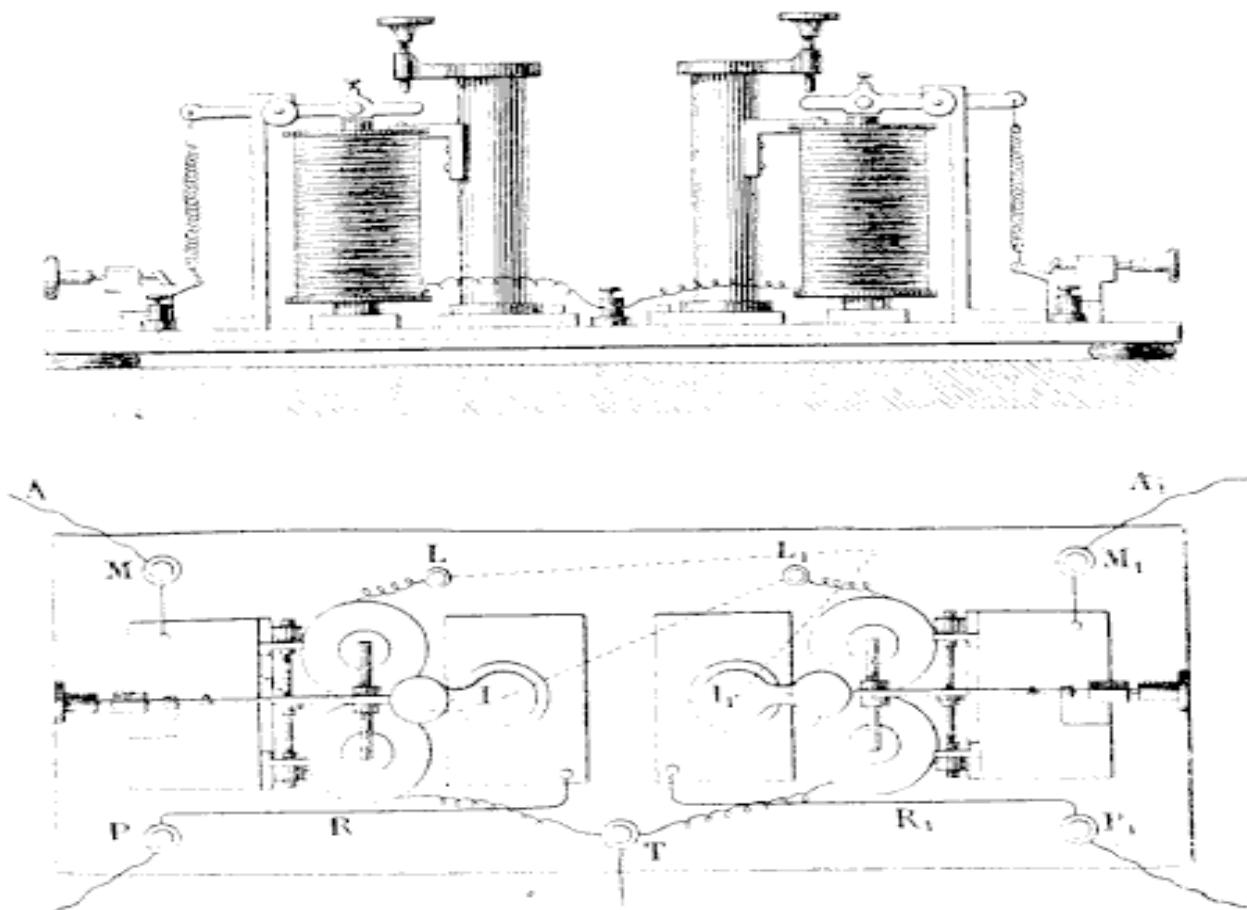


Fig. 455.

bouton I, et à L_1 ; il traverse l'électro-aimant du relais R_1 et se rend à la terre par T. Le relais R_1 fonctionne; le courant de la pile locale va de P_1 à l'armature de R_1 ; de là au bouton M_1 et puis sur la portion de ligne qui aboutit au poste A_1 .

Quand le poste A_1 travaille la marche de son courant est analogue à la précédente: cette fois, c'est le relais II qui fonctionne et envoie au poste A le courant de la pile locale.

Une seule pile locale suffit souvent; l'un de ses pôles aboutit à la terre, l'autre aux boutons P , P_1 reliés à l'extérieur des colonnes des deux relais.

Cet appareil résout complètement, au moins théoriquement, le problème de la communication à grande distance : en pratique il est d'un maniement commode, mais délicat; son réglage demande beaucoup de soin et d'attention. Il a l'inconvénient de ralentir un peu les transmissions.

COMMUNICATION ENTRE UN POSTE ET PLUSIEURS AUTRES

I. — Si ces derniers ne doivent pas communiquer entre eux, mais seulement avec le premier, ainsi que cela arrive souvent, il est facile d'établir des communications convenables.

Un seul appareil au poste principal suffit, en faisant aboutir chacun des postes secondaires à volonté avec une sonnerie ou avec cet appareil. Ce changement de communications s'opère à l'aide d'appareils nommés *commutateurs* dont nous allons indiquer les principales formes avant d'aller plus loin.

Commutateurs. — *Commutateur rond à plusieurs fils.* — La figure 156 représente le commutateur en usage depuis bien longtemps. C'est une tige en laiton R , terminée par une poignée en bois N et mobile autour d'un axe vertical fixé sur un support en bois ordinairement rond ; la tige peut être mise en communication, avec frottement dur D , avec plusieurs boutons auxquels on peut attacher des fils divers, a, b, c, \dots . L'axe est lui-même relié par une plaque en cuivre à un bouton auquel on attache ordinairement la ligne, que l'appareil permet ainsi de faire communiquer avec les diverses directions a, b, c, \dots

Commutateur à rosace. — Au commutateur précédent peut se rattacher le *commutateur à rosace* employé avan-

tageusement, quand il s'agit de relier de nombreux appareils à de nombreuses lignes ou à des piles de nombre

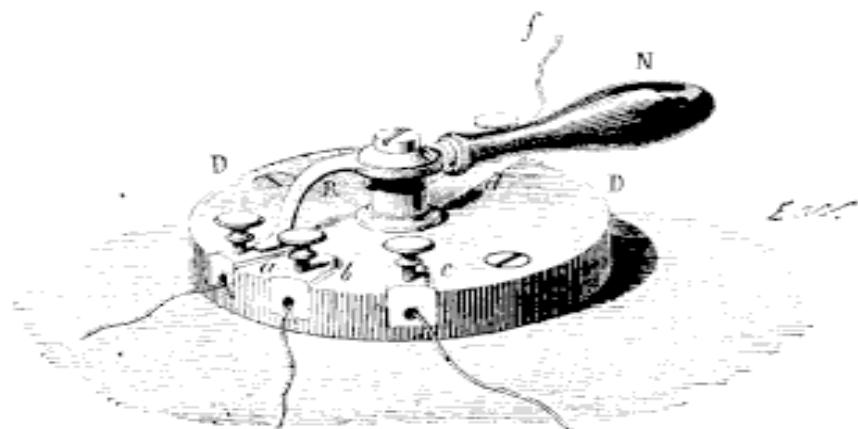


Fig. 156.

d'éléments différents, ainsi que cela a lieu au poste central de Paris par exemple.

Sur deux cercles concentriques A et B, on peut placer une double série de bornes qui se correspondent sur les rayons.

On fait communiquer celles de la circonference intérieure par exemple avec les appareils du poste où se trouve le commutateur convenablement numérotés, et celles de la circonference extérieure, soit avec des piles de différentes intensités si on veut avoir un commutateur de piles, soit avec les diverses lignes extérieures si on veut faire un commutateur de lignes. Les fils de communications sont d'ailleurs groupés de façon à former des câbles distincts, allant du commu-

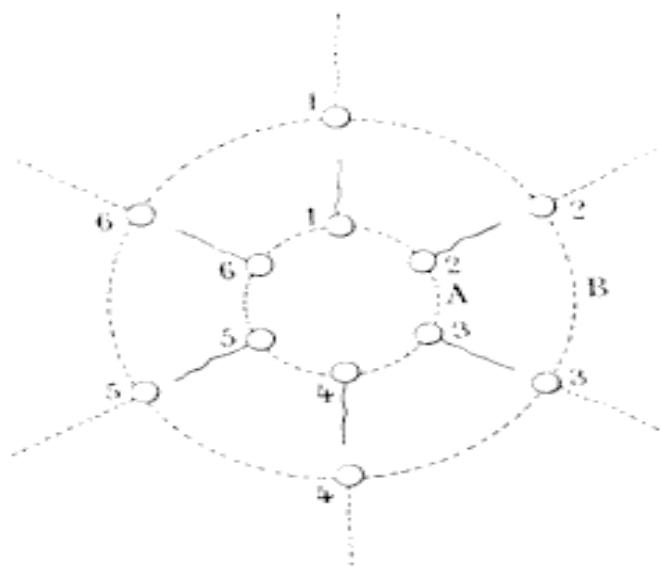


Fig. 156 bis.

tateur aux locaux des piles ou des appareils : on fait alors les combinaisons que l'on veut à l'aide de fils volants formés de fil de cuivre recouvert de gutta-percha.

Commutateur bavarois. — Une disposition qui assure très bien le contact des pièces métalliques est celle du commutateur bavarois (fig. 457). Il est formé de 5 plaques épaisses en cuivre A, B, C, juxtaposées comme l'indique la figure et isolées les unes des autres par un support en bois ou en caoutchouc durci : une fiche F dont la partie inférieure est métallique peut être enfoncée dans les échancrures *m* ou *n*, et faire par suite communiquer à volonté un fil *a* avec 2 autres *b* et *c*. Il est clair qu'on pourrait mettre autant de plaques telles que B et C qu'on voudrait.

Commutateur suisse. — Cet instrument peu employé aujourd'hui se compose d'une série de lames métalliques parallèles *a*, *b*, *c*,... fixées à la partie supérieure d'un bloc de bois rectangulaire, et d'une autre série de lames perpendiculaires aux premières et fixées au-dessous des premières, *a*₁, *b*₁, *c*₁,... fig. 458,

A chaque croisement des lames sont pratiquées des ouvertures dans lesquelles on peut enfoncer des fiches F analogues à celles de la figure précédente, et établir ainsi une communication entre une des lames inférieures et une des lames supérieures. Chaque lame communiquant à un fil *a*, *b*, *c*,... *a*₁, *b*₁, *c*₁,... on voit que cet appareil permet d'établir entre ces fils les communications les plus variées.

Ordinairement l'une des séries des fils communique avec les divers récepteurs d'un poste; l'autre série communique soit avec des fils de lignes télégraphiques, soit

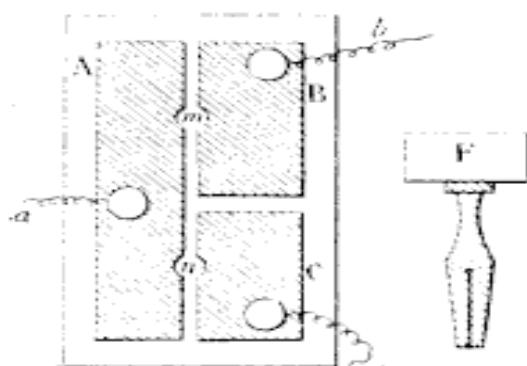


Fig. 457.

avec des piles différant en général par le nombre de leurs éléments. On a alors ce qu'on appelle un commutateur de lignes ou un commutateur de piles.

Commutateur inverseur. — Cet appareil est destiné à changer, d'un seul mouvement, deux communications à la fois. Il sert habituellement à produire une *inversion* de courant.

B et B_1 sont deux tiges flexibles en laiton mobiles autour des axes 0 et 0_1 et reliées par une tige articulée CD munie d'une poignée de bois A. Par le mou-

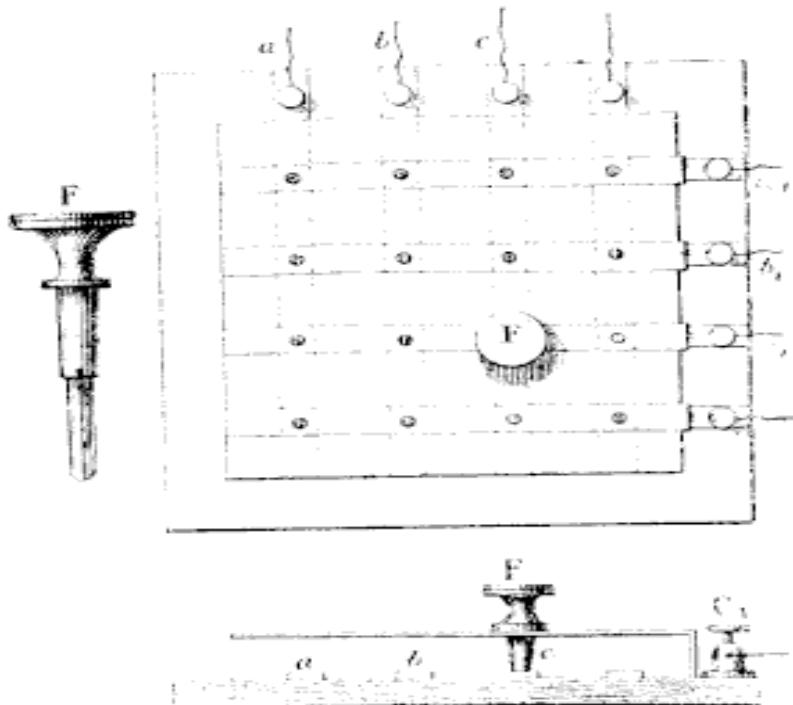


Fig. 158.

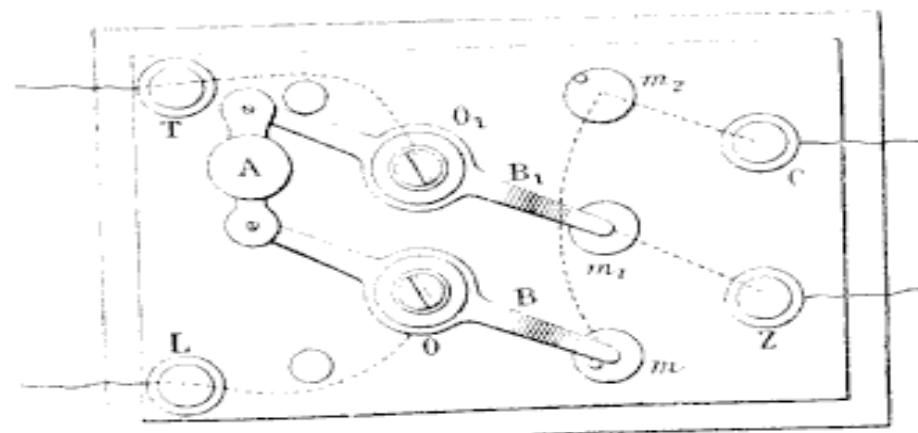


Fig. 159.

vement de cette poignée les 2 tiges peuvent être mises en contact avec 2 des 5 plaques en cuivre m , m_1 , m_2 ; Z et C

sont des bornes reliées aux pôles zinc et cuivre d'une pile ; la terre T , la ligne L sont reliées aux axes 0 et 0_1 .

Dans la situation qu'indique la figure, on voit que le pôle zinc de la pile est à la terre, le pôle cuivre sur la ligne ; si on fait tourner la poignée de façon que B et B_1 communiquent avec m_1 et m_2 , on mettra en même temps le cuivre à la terre et le pôle zinc en communication avec la ligne.

Ces divers commutateurs décrits, revenons à la communication à établir entre plusieurs postes A_1 , A_2 , A_3 ... qui ne doivent pas communiquer entre eux, mais bien avec un poste principal B .

Chaque poste A_1 , A_2 , A_3 ... arrive à un commutateur C_1 , C_2 , C_3 ... qui peut le mettre en communication soit

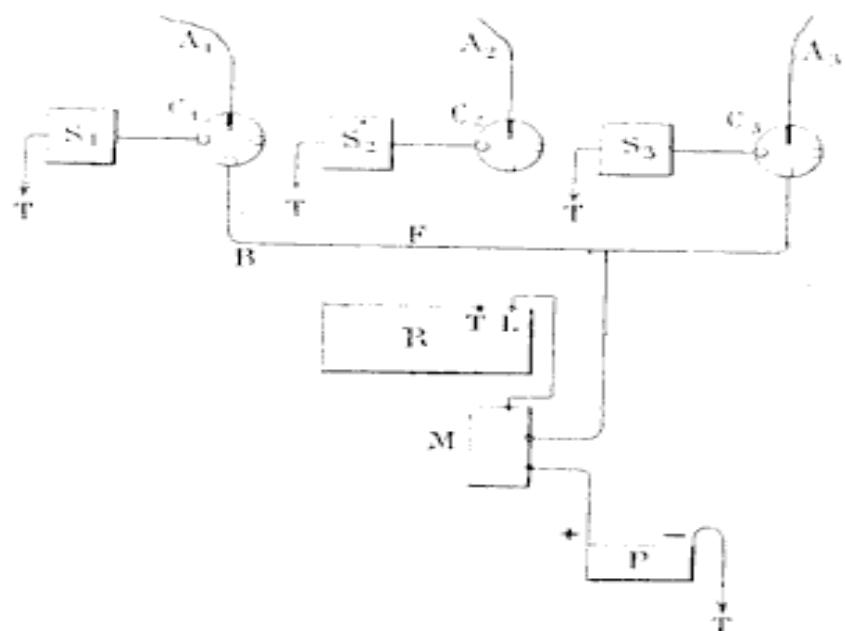


Fig. 140.

avec une sonnerie ou un parleur S_1 , S_2 , S_3 ..., soit avec un fil F relié au manipulateur M de l'appareil destiné dans le poste B à desservir les postes A_1 , A_2 ... (Nous supposerons toujours qu'on emploie des appareils Morse).

On voit alors que le poste B peut travailler avec l'un

quelconque des poste A₁, A₂... en mettant les autres en communication avec leur sonnerie. Inversement chacun des postes A₁, A₂... peut appeler le poste B : celui-ci, au bruit de la sonnerie, met à l'aide du commutateur le poste qui appelle en communication avec le fil F et peut alors recevoir ses transmissions.

II. — Si les postes qui doivent communiquer avec un poste principal, doivent aussi pouvoir communiquer entre eux, l'établissement des communications devient plus difficile.

Nous supposerons seulement 5 postes à relier entre eux dans ces conditions : A, B et C.

Communication par translation.—Une bonne solution, au moins théoriquement, quand on se sert d'appareils Morse, consiste à placer au poste C intermédiaire deux appareils Morse établis en double relais comme on vient de l'indiquer plus haut, et comme l'indique la figure ci-contre 141.

Lorsque les commutateurs sont sur les boutons m et m_1 , les 2 appareils fonctionnent comme un double relais; les postes A et B peuvent travailler et le poste C recevoir la

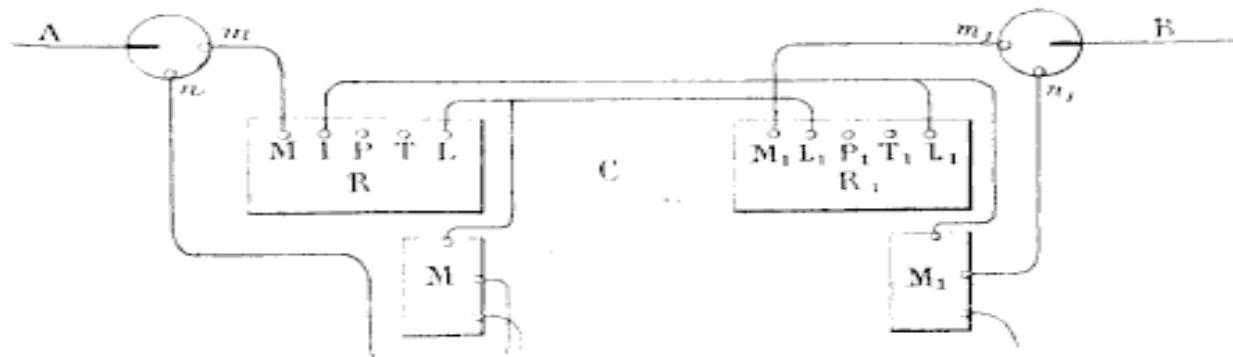


Fig. 441.

transmission de A en laissant dérouler la bande du récepteur R_1 , et la transmission de B dans le récepteur R. Lorsque les commutateurs sont placés sur les boutons n et n_1 ,

le poste C peut travailler à volonté soit avec le poste A, soit avec le poste B : les autres communications ne servent alors à rien et ne peuvent pas nuire, ainsi qu'on s'en assure d'après la marche des courants.

Malheureusement le réglage d'appareils mis *en translation* est difficile, surtout quand les courants sont faibles. Pour que l'armature frappe bien sur le butoir inférieur V_1 (voir fig. 416 et 417), condition essentielle pour que le courant de la pile locale passe bien par l'armature, il faut que le couteau D soit abaissé à l'aide d'une vis ; mais quand on veut ensuite recevoir, il faut replacer le couteau dans sa position primitive. De plus ce genre de communication ralentit les transmissions. Enfin il exige 2 appareils au poste intermédiaire.

Communication par interposition dans le circuit, ou embrochage. — Au poste intermédiaire, C, le récepteur est interposé dans le circuit ; il n'y a pas de communication à la terre dans ce poste, le pôle zinc de la pile et la borne T du récepteur communiquant ensemble avec la ligne qui va au poste B.

A et B travaillent ensemble sans difficulté et en même temps avec C. Celui-ci transmet aussi à la fois aux deux autres, car lorsqu'il abaisse son manipulateur, le courant va sur la ligne vers A, se rend à la terre de A après avoir traversé son récepteur, revient à la terre de B, passe dans son récepteur et revient sur la ligne de B en C jusqu'au pôle négatif de la pile de C.

En mettant des piles et des récepteurs identiques aux trois postes, quel que soit celui qui transmette, la résistance est toujours égale à celle de la ligne entière augmentée de celle des bobines des deux récepteurs : l'intensité des courants est donc toujours la même. Quand l'un des postes transmet, les deux autres reçoivent en même temps ; mais il n'en résulte aucun inconvénient.

Ce système résout d'une façon complète le problème de la communication simultanée de trois postes. En pratique

il donne de bons résultats pourvu qu'au poste intermédiaire on veille avec le plus grand soin à ne laisser s'établir aucune communication avec la terre.

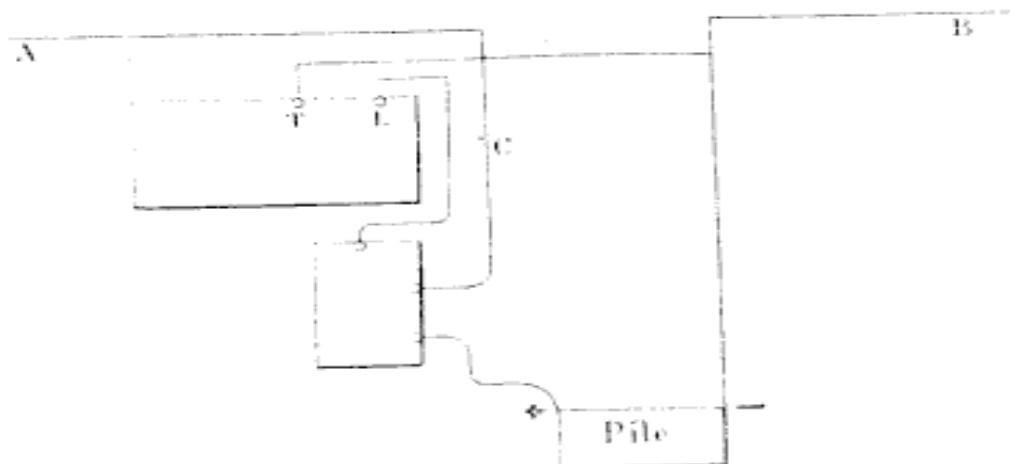


Fig. 142.

Communication par dérivation. — Lorsque sur un circuit télégraphique AB, on attache en un point C un autre fil CD, aboutissant à la terre comme A et B, si on envoie de A par exemple un courant d'une intensité déter-

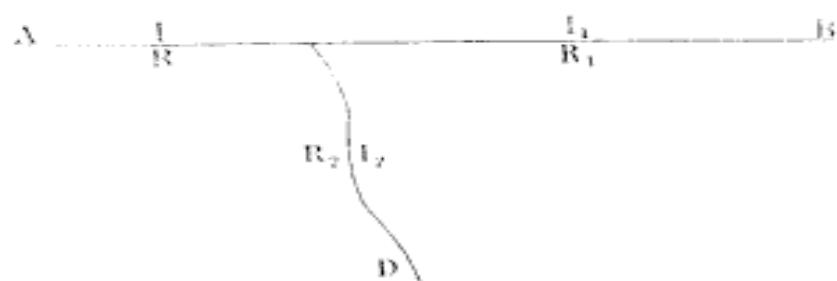


Fig. 143.

minée I , la quantité d'électricité qui arrive au point C se divisera en deux parties, et deux courants d'intensités généralement différentes I_1 et I_2 circuleront sur les portions de lignes CB et CD.

Soient R , R_1 , R_2 , les résistances des lignes AC, CB, CD,

que nous pouvons supposer de même nature et de même diamètre

Si l'on mesure à l'aide d'une boussole de sinus, par exemple les intensités I_1 et I_2 , on trouve qu'elles sont *en raison inverse des résistances* correspondantes R_1 et R_2 c'est-à-dire par exemple, que si R_1 est double ou triple de R_2 , I_1 est la moitié ou le tiers de I_2 .

Si donc on égalise ces résistances en interposant sur la ligne la moins résistante une bobine de résistance convenable (analogue à celles qui forment la caisse de résistance décrite page 121), les intensités I_1 et I_2 deviendront égales.

On ferait un raisonnement analogue pour des courants partant de B ou de D.

On voit en définitive qu'en s'arrangeant (ce qui est toujours possible) de façon que les résistances R , R_1 , R_2 , soient égales, des courants de même intensité au départ de l'une quelconque des lignes AC, DC, ou BB auront sur les deux autres les mêmes intensités.

Le fil CD se nomme *fil de dérivation*, le circuit télégraphique formé par ce fil et un appareil à la manière ordinaire se nomme *circuit de dérivation* ou *dérivé*. Enfin on appelle communication par dérivation le système formé par l'ensemble des trois fils AC, CB, CD au bout desquels on place trois appareils et trois piles identiques.

Nous devrions ajouter à la figure 144 ci-contre les bobines qui doivent servir à égaliser les résistances dans les trois circuits partiels. Mais il faut dire qu'on ne s'en sert habituellement pas, et qu'en général on n'use de ce système de communications que dans les deux cas suivants : 1^o lorsque les longueurs des trois circuits (et par suite leurs résistances) ne sont pas très différentes; 2^o lorsque ces longueurs, quoique différentes, sont beaucoup plus petites que les résistances égales des bobines des récepteurs; lorsque, par exemple, les postes A, B, C, sont à des distances mutuelles variant de cinq à quinze kilomè-

tres, les bobines des récepteurs ayant une résistance de cinquante kilomètres ; alors en effet les résistances des circuits partiels varient de cinquante-cinq à soixante-

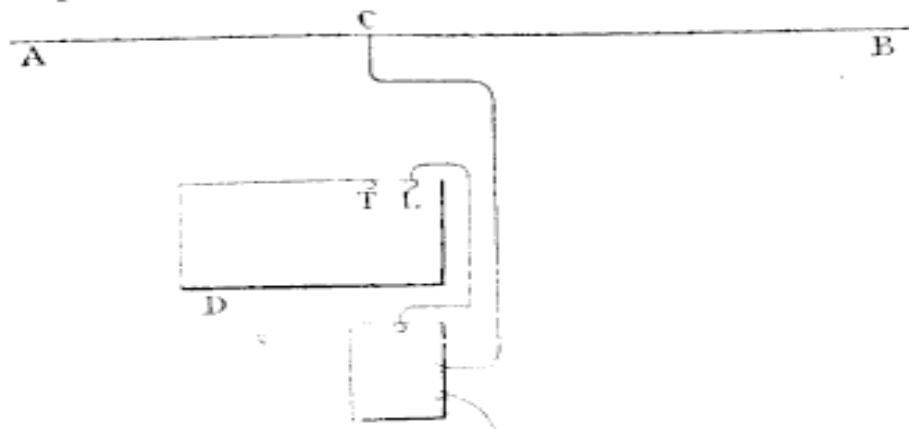


Fig. 144.

cinq kilomètres et cette différence n'est pas assez grande pour qu'il en résulte un inconvénient sérieux.

On obtient ainsi une solution approximative de communication simultanée très suffisante dans la pratique ; d'autant qu'on peut toujours l'améliorer comme nous venons de l'indiquer à l'aide de bobines de résistance auxiliaires.

Rappel par inversion du courant. — Si l'on veut éviter que lorsqu'un poste transmet les deux autres reçoivent à la fois, il suffit à l'un des postes C d'établir un parleur à *armature aimantée* P (voir page 191) ne marchant que quand il reçoit un courant *positif* : dans la pile de ce poste, le zinc sera à la terre et le cuivre sur le manipulateur : il enverra ainsi en manipulant un courant positif.

Au poste B au contraire, on mettra un parleur à armature aimantée P ne marchant que sous l'action d'un courant négatif, et dans la pile de ce poste c'est le cuivre qui sera mis à la terre.

Quant au poste A, il suffira d'y établir un commutateur inverseur au moyen duquel on pourra envoyer le

courant positif si on veut travailler avec C, le courant négatif quand on veut travailler avec B.

On voit d'ailleurs que quand l'un des deux postes B ou

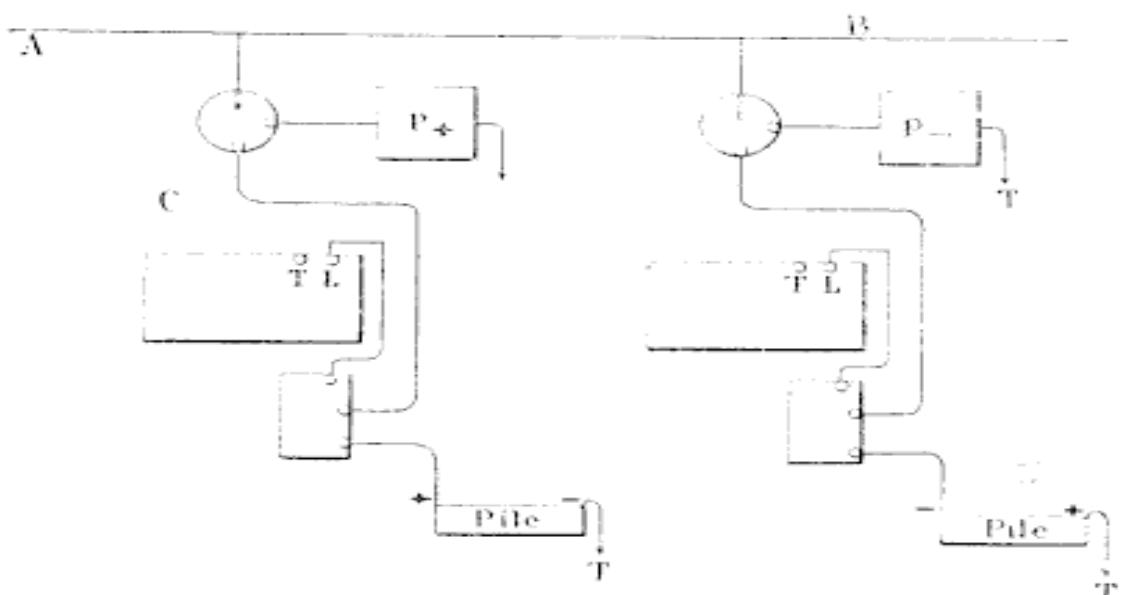


Fig. 145,

C travaille, l'autre qui est sur son parleur ne reçoit rien. Ce système est actuellement très employé quand deux petits postes, tels que des bureaux municipaux sont reliés à un poste central plus important.

Si on voulait que B et C pussent travailler ensemble il faudrait aussi y placer un commutateur inverseur.

PERTURBATIONS AU TRAVAIL TÉLÉGRAPHIQUE RÉGULIER. DÉRANGEMENTS.

Les diverses espèces de perturbations qui peuvent survenir au travail télégraphique entre deux stations sont très nombreuses ; mais sauf l'une d'elles dont il va être question tout à l'heure, et *en ne considérant que les lignes aériennes*, les notions théoriques déjà données suffisent pour s'en rendre compte. Aussi nous contenterons-nous

de les indiquer rapidement en nous en tenant même aux plus saillantes.

PERTURBATIONS OU DÉRANGEMENTS PROVENANT DES PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES

I. — **Aurores boréales.** — Les aurores boréales sont d'immenses lueurs qui s'élèvent de temps en temps des pôles de la terre et qu'on croit dues à des phénomènes électro-magnétiques. Lorsque ces aurores paraissent, certaines lignes sont parcourues par des courants irréguliers, quelquefois assez durables, de sens variable et dont la loi est inconnue. Ils troublent toujours et empêchent quelquefois les transmissions.

II. — **Électricité atmosphérique.** — L'atmosphère est constamment chargée d'électricité qui, en temps ordinaire, n'a pas d'influence appréciable sur les fils et le travail télégraphiques. En temps d'orage il n'en est pas de même : l'électricité accumulée sur les nuages orageux peut produire les plus fâcheux effets au point de vue télégraphique. Mais avant d'examiner ces effets, il est indispensable de faire ici une assez longue digression.

Nous avons vu que la pile est un instrument qui produit de l'électricité à un *potentiel* extrêmement faible ; mais la *quantité* d'électricité qu'elle produit d'une manière continue comparée à celle des autres sources d'électricité connues est énorme. Et il faut en effet des quantités considérables d'électricité pour produire les décompositions chimiques et les déviations des galvanomètres, au moyen desquelles nous avons caractérisé l'existence d'un courant.

Effet calorifique et lumineux de l'électricité. — Le passage d'une certaine quantité d'électricité produit, par une certaine différence de potentiel se révèle dans un conducteur par un autre phénomène dont nous avons

parlé également : il en résulte *un développement de chaleur*.

Une pile étant donnée, la quantité de chaleur qu'elle développe dans un fil est *proportionnelle à la résistance de ce fil*.

Avec une pile énergique un fil de fer un peu fin s'échauffe ; un fil plus fin rougit ; un fil plus fin encore peut fondre. Si on forme le circuit d'une pile énergique avec une chaîne de fils fins de platine et d'argent alternés, on voit rougir les fils de platine, tandis que les fils d'argent bien moins résistants restent obscurs.

L'effet calorifique en un point d'un circuit tient beaucoup plus à la quantité d'électricité qui passe en ce point qu'à la différence de potentiel qui produit le courant.

En effet, 15 grands éléments Marié-Davy par exemple, accouplés en quantité fondent un fil de fer fin et court : accouplés en tension ils n'y parviennent pas.

Néanmoins la différence de potentiel est nécessaire pour produire le courant, si bien que lorsque la résistance du circuit devient considérable, par exemple quand il s'agit de produire un courant à travers une couche d'air *ab* qui sépare les extrémités des rhéophores d'une

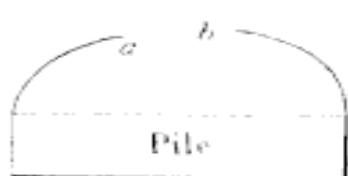


Fig. 147.

pile, si mince que soit cette couche, il faut pour y parvenir une très grande différence de potentiel. Davy qui a fait le premier cette expérience accoupla pour cela en tension 2000 éléments formés de zinc, eau acidulée et cuivre.

Avec un nombre moindre d'éléments Bunsen on arrive au même résultat ; mais il n'en est pas moins vrai que ce résultat ne peut être obtenu qu'à l'aide d'une différence de potentiel relativement très considérable.

La résistance de l'air ainsi surmontée et le courant établi, il se développe en même temps une grande quantité de chaleur et un trait de feu brillant se produit entre les deux points *a* et *b*.

Il y a donc dans ce phénomène un effet complexe dû à l'action combinée de la différence de potentiel et de la quantité d'électricité. On démontre en effet que cet effet est *proportionnel au produit de la quantité d'électricité par la différence de potentiel*.

Étincelle électrique. — Le phénomène dont nous parlons est continu comme l'action de la pile. Mais si on ne fait agir la pile que pendant un temps très court le trait lumineux ne dure aussi qu'un instant ; on l'appelle alors *étincelle électrique*.

Notons d'ailleurs qu'on obtient ces étincelles aussi bien entre un pôle de la pile et un conducteur en communication avec la terre (ainsi que l'autre pôle) qu'entre les deux pôles mêmes.

Ces étincelles, si difficiles à obtenir avec des piles, on les obtient très aisément avec les instruments fondés sur le développement d'électricité par le frottement.

Nous ne pouvons ici, subsidiairement, à propos d'une perturbation au travail télégraphique décrire les diverses machines, si connues du reste, qu'on nomme électrophores, machines électriques, bouteilles de Leyde, batteries électriques, ni, à plus forte raison, en donner la théorie : nous ne pouvons qu'indiquer les expériences à faire afin de montrer les effets variés qu'elles présentent¹.

Avec un électrophore, nous obtenons entre le plateau de l'instrument et un conducteur en communication avec le sol des étincelles minces, pâles, produisant un petit bruit sec. Elles sont dues à une *très faible quantité* d'électricité douée d'une *forte tension* bien supérieure à celle qu'on obtiendrait avec 2000 éléments Daniell accouplés en tension.

Avec les machines électriques à plateau de verre on

1. On trouve la description et la théorie de ces instruments (ou plutôt les explications plus ou moins plausibles auxquelles on donne ce nom) dans les traités de physique même les plus élémentaires.

obtient des étincelles plus larges et plus longues qu'avec l'électroscopie : la quantité d'électricité et la tension qui les produit sont plus grandes. Avec les nouvelles machines de Holtz ou de Bertych on obtient des étincelles de 20 à 50 centimètres de longueur présentant une forme en zig-zag caractéristique.

Si on charge avec l'une de ces machines une bouteille de Leyde, on accumule, d'après la constitution de cet instrument, une grande quantité d'électricité douée de la tension de la machine : on doit donc s'attendre à un effet calorifique plus intense. En effet, en même temps que l'étincelle diminue de longueur, elle s'élargit, devient plus brillante, plus bruyante et plus chaude : un fil de fer fin placé sur son trajet est fondu.

On obtient ainsi avec des moyens en apparence au moins bien différents, le même résultat avec cet appareil et les 15 éléments Marié-Davy de tout à l'heure accouplés en quantité. C'est que si la *quantité* d'électricité produite dans le même temps par la pile et la bouteille de Leyde est beaucoup plus grande dans le premier de ces appareils que dans le second, inversement *la tension* ou *potentiel* de celui-ci est beaucoup plus grande que celle de la pile, et comme l'effet produit est proportionnel au produit de ces deux facteurs, quantité et tension, on comprend qu'il s'établisse une compensation.

En somme, quelle que soit l'origine de l'étincelle électrique, on peut la définir ainsi : *l'effet calorifique et lumineux du courant instantané* (appelé ordinairement *décharge électrique*) *produit, à travers l'air (ou un corps très mauvais conducteur), entre deux conducteurs chargés d'une certaine quantité d'électricité à une différence de potentiel relativement considérable.*

Après ces explications, qui ont l'avantage de préciser encore plus que nous ne l'avions fait précédemment la distinction fondamentale entre la quantité d'électricité et la tension ou potentiel, quelques mots suffiront pour

comprendre les effets de l'électricité pendant les orages.

Éclair. — L'éclair n'est autre chose, ainsi que l'a montré Franklin, qu'une étincelle électrique entre deux nuages orageux ou entre un nuage et des conducteurs en communication avec le sol. Le tonnerre est le bruit de l'étincelle répercute par les nuages, les montagnes, etc.

Cette étincelle est habituellement très longue, mais grêle et en zig-zag; elle ressemble tout à fait à celle d'une forte machine électrique, ou en général d'une machine donnant une *faible quantité* d'électricité à une *haute tension*. La quantité d'électricité d'un nuage orageux est en effet relativement faible; mais sa tension est énorme.

De la combinaison de ces deux éléments résulte un développement de chaleur et de force mécanique considérables.

De là deux effets principaux des étincelles atmosphériques sur les divers organes du travail télégraphique.

1^o Si elles éclatent entre les nuages et les fils ou poteaux télégraphiques, elles déterminent le plus souvent leur rupture; il en résulte sur les fils une interruption complète de tout travail.

2^o Si elles éclatent entre deux nuages, il en résulte sur les fils une réaction dans l'explication de laquelle nous n'entrerons pas, mais d'où résultent des courants d'inductions rapides caractérisés par une différence de tension et une intensité considérables.

Ces courants arrivant dans les postes déterminent, soit des étincelles quelquefois dangereuses entre les diverses pièces métalliques qui s'y trouvent, soit la fusion des fils très résistants des bobines dans les électro-aimants; soit enfin les deux accidents réunis.

Paratonnerres. — On évite ces inconvénients à l'aide de paratonnerres. On peut en compter deux espèces basées sur les deux propriétés des courants atmosphériques.

I. — 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 pointes et à plaque isolante.

Paratonnerre à pointes ordinaire. — AB est une plaque métallique à laquelle sont fixées une grande quantité de pointes dont les extrémités sont à une très petite distance d'une seconde plaque CD. Celle-ci communique avec la terre ; AB avec la ligne d'un côté, et avec le récepteur de l'autre côté (fig. 147).

La résistance de la mince couche d'air qui sépare les

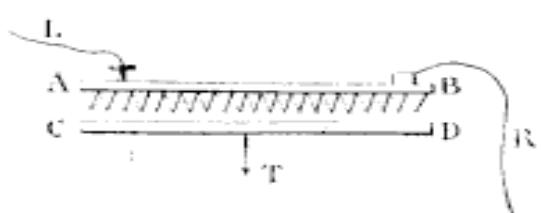


Fig. 147.

pointes de CD est aisément surmontée par la tension d'un courant atmosphérique arrivant sur la plaque AB. D'ailleurs l'expérience a prouvé que les conducteurs en

pointes 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 par la plaque CD, et ce qui reste peut passer dans le récepteur sans occasionner de dégâts dans les bobines.

Paratonnerre Bertsch. — On améliore le paratonnerre

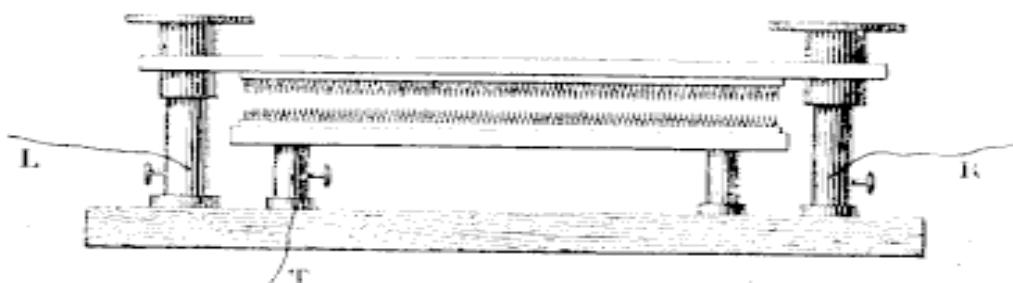


Fig. 148.

en mettant aussi des pointes sur la plaque inférieure, suivant la disposition ci-contre (fig. 148).

Paratonnerre à lame isolante (fig. 149). — Si on met entre les deux plaques AB, CD sans pointes une lame isolante très mince, soit en papier, soit en mica, soit en gutta-percha, la résistance de cette lame, très suffisante

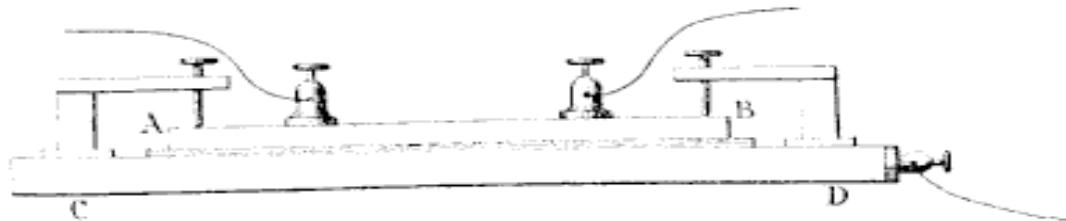


Fig. 149.

pour empêcher les courants ordinaires de la traverser, permet au contraire la décharge de l'électricité à haute tension des courants atmosphériques : 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 peut encore superposer à un paratonnerre à plaque un paratonnerre à pointes, ce qui augmente encore l'efficacité de l'instrument.

On place habituellement ces appareils à l'entrée des fils dans les bureaux télégraphiques.

II. — On peut profiter de l'effet calorifique produit par le passage du courant atmosphérique à travers un fil très résistant, de la manière suivante :

Paratonnerre à fil préservateur (fig. 150). — On prend un cylindre ou bobine formé de 3 parties métalliques A, B, C isolées les unes des autres par deux rondelles en ivoire *m*, *n*. On enroule sur ce cylindre un fil de fer très fin (de 0^{mm},1 environ de diamètre) dit fil préservateur recouvert de soie sur toute sa longueur sauf aux extrémités où il est dénudé et serré par des vis à tête ronde V, V₁. La partie moyenne B communique avec la terre ; A avec la ligne, C 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 A communiquera avec la partie moyenne B et par suite avec la terre où viendra se perdre le courant qui a produit cet effet et les courants suivants.

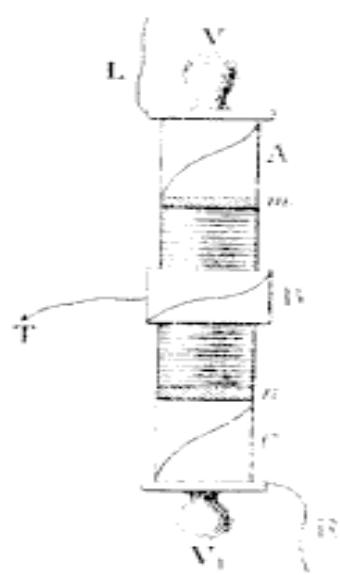


Fig. 151.

Les communications étant celles de la figure ci-contre, la ligne L communique avec le récepteur R par l'intermédiaire du fil préservateur. Si on met le commutateur sur la plaque *c*,

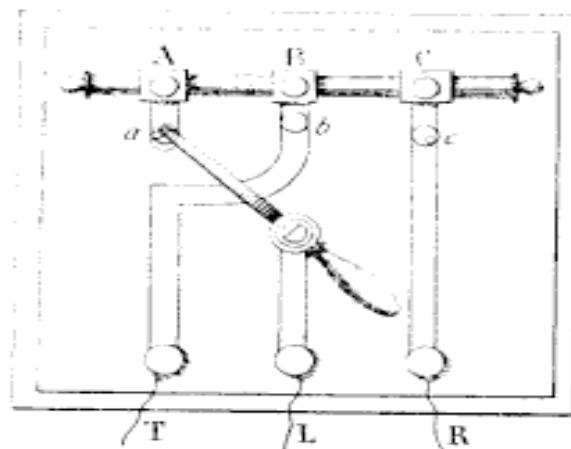


Fig. 151.

le fil est hors du circuit. Si le commutateur est sur la plaque *b*, la ligne communique directement à la terre.

On se met dans la position indiquée par la figure dès qu'il se produit une apparence d'orage. Si l'orage est tellement violent que la protection des appareils par le fil devienne insuffisante, on met la ligne à la terre.

Ce commutateur se place sur les tables de manipulation après les boussoles, de telle sorte qu'avant d'arriver aux bobines des électro-aimants les courants atmosphéri-

ques traversent toujours un paratonnerre à pointes ou à plaque d'abord, à l'entrée du poste, puis une bobine à fil préservateur. Il est extrêmement rare que ces deux appareils ne suffisent pas à éviter tout accident.

Par l'addition de ces deux appareils et d'un commuta-

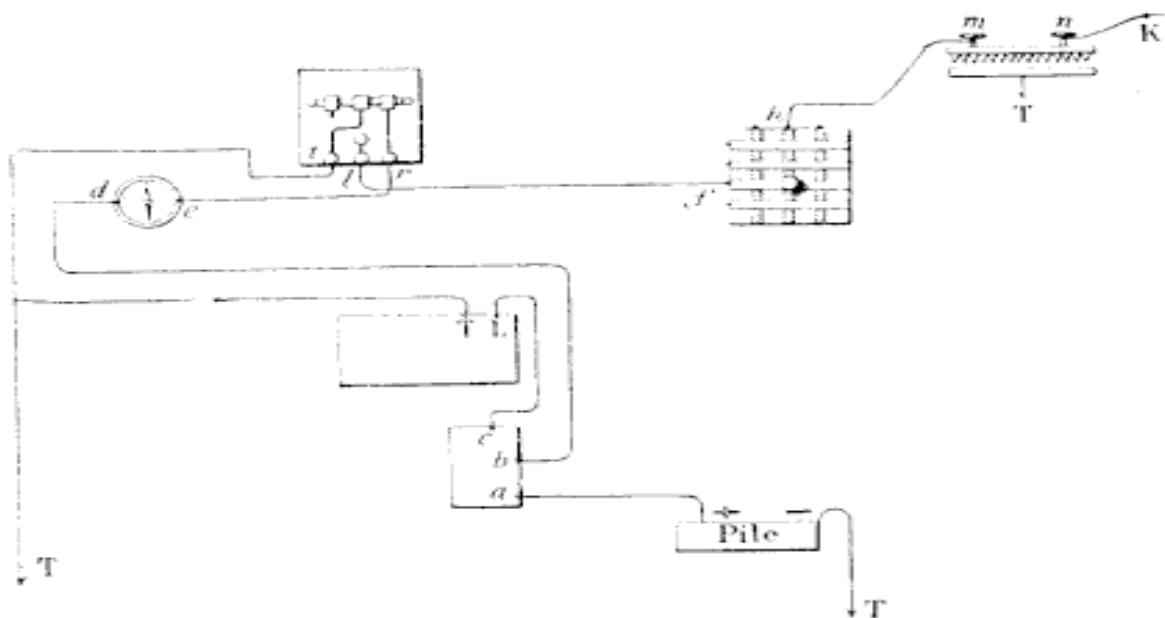


Fig. 152.

teur suisse, les communications dans un bureau télégraphique, en les réduisant au strict nécessaire, se trouvent représentées par la figure 152, qui nous sera utile pour ce qui va suivre,

PERTURBATIONS OU DÉRANGEMENTS PROVENANT DES LIGNES OU DES COMMUNICATIONS DANS LES POSTES

Nous indiquerons seulement les principaux de ces dérangements, et très rapidement la méthode à suivre pour trouver le point où ils se produisent.

Dans un poste télégraphique une bonne transmission est caractérisée par une certaine déviation moyenne de la boussole dans un certain sens ; une bonne réception

par une déviation en sens contraire : ces déviations sont connues, et il suffit d'un coup d'œil jeté sur la boussole pour voir s'il se produit quelque chose d'anormal soit dans le poste, soit sur la ligne.

Cela posé voici la série ordinaire de dérangements.

I. — *La transmission est bonne avec la déviation normale, mais on ne reçoit rien.*

La transmission étant bonne, les communications *a b de...* la ligne et la pile sont bonnes ; le dérangement ne peut se trouver que sur le trajet *b c L T* et la terre. Il faut donc s'assurer s'il n'y a pas une rupture sur ce trajet, spécialement dans les bobines de l'électro-aimant ou dans la communication avec la terre.

II. — *La transmission s'opère mais avec une déviation anormale : pas de réception.*

On dit alors que la boussole *renverse*.

C'est une preuve que l'intensité du courant a subitement beaucoup augmenté. C'est qu'il s'est produit une grande diminution de résistance dans le circuit, par suite d'une communication anormale avec la terre.

Dans ce cas, on s'assure d'abord si cette communication est dans le poste ou en dehors.

A cet effet on isole le fil au point *K* à son entrée dans le poste. Si en abaissant le manipulateur il n'y a plus de déviation, c'est que le dérangement est évidemment sur la ligne.

Si la déviation extraordinaire persiste, c'est que le dérangement est dans le poste. On isole alors le circuit successivement, de proche en proche, à tous les points de raccordement *n, m, h, f, r, l, e, d*, jusqu'à ce qu'en manipulant il n'y ait plus de déviation. On circonscrit ainsi le dérangement entre deux points très voisins, ce qui le fait découvrir aisément.

Ce dérangement se produit souvent à la bobine préservatrice parce que le fil se dénude assez facilement par le frottement.

III. — *Transmission impossible, pas de déviation : pas de réception.*

Le dérangement consiste alors dans une rupture du circuit.

On isole le fil au point K et on y attache un fil d'essai en communication avec la terre.

Si alors le courant passe, la rupture est en dehors du poste sur la ligne.

Si non, on fait aboutir le fil d'essai successivement aux points *n*, *m*... comme tout à l'heure jusqu'à ce que le courant passe. Si on arrive ainsi jusqu'au point *b* sans trouver le dérangement, on est certain que c'est la communication à la terre qui est rompue.

IV. — *Transmission impossible, pas de déviation : bonne réception.*

En ce cas, c'est le courant de la pile qui fait défaut, ou il y a un mauvais contact au manipulateur, ou il y a une rupture entre la pile et le point *a*, ou une interruption dans la pile même. Il est facile de s'en assurer.

V. — *Transmission et réception possibles, mais avec faibles déviations.*

Il y a alors une ou plusieurs dérivations dans le circuit. En général cet effet se produit sur les lignes. Cependant il faut alors vérifier les contacts en tous les points *a*, *b*, *c*...

VI. — *Transmission et réception bonnes, mais réception simultanée sur un ou plusieurs appareils voisins.*

Alors il existe un mélange de plusieurs fils sur les poteaux ou une communication entre eux dans le poste.

On distingue d'abord ces deux cas en isolant à l'entrée du poste les fils sur lesquels on reçoit simultanément : si ces fils sont alors isolés le mélange est extérieur. Si non, on les isole successivement et simultanément aux points *n*, *m*... etc. Les commutateurs suisses où se réunissent les divers fils d'un poste sont souvent les causes de ce dérangement.

L'effet en question peut être, mais très rarement, dû à une autre cause.

En général, dans les bureaux, les fils qui vont des bornes T des récepteurs à la terre sont reliés entre eux à un certain point A, puis rejoignent le fil de terre de la pile en B. Supposons sur le fil de la pile en un point C au-dessus de B une grande résistance. Le courant envoyé par le manipulateur passera sur la ligne jusqu'au poste correspondant, reviendra par la terre, suivra le chemin

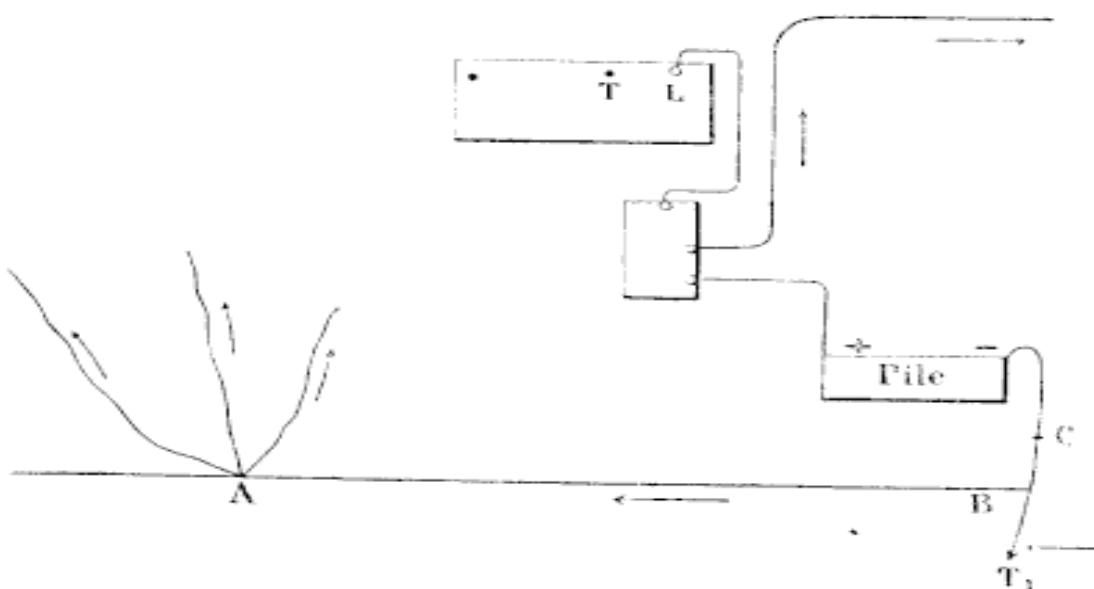


Fig. 455.

T_1BA de préférence à T_1BC et arrivera par les bornes T dans les divers récepteurs du poste, traversera les bobines des électro-aimants, *en sens inverse* du sens habituel pendant la réception, et se rendra ensuite sur les lignes correspondantes faire marcher leurs appareils s'il conserve assez d'intensité.

On s'apercevra tout de suite si le dérangement est dû à cette cause, car les déviations des boussoles seront *inverses* de celles qui ont lieu ordinairement *pendant la réception*, ou, ce qui revient au même, elles auront le même sens que si on abaissait les manipulateurs des appareils qui marchent ainsi simultanément.

DÉRANGEMENTS A L'INTÉRIEUR DES APPAREILS DE MANIPULATION OU DE RÉCEPTION

1^o Il y a d'abord les dérangements dans le fonctionnement des pièces mécaniques qui constituent les mécanismes d'horlogerie par exemple, ou les organes divers d'appareils compliqués comme le manipulateur et le récepteur Hughes.

Nous ne saurions parler ici de cette troisième catégorie de dérangements.

2^o Il y a encore une perturbation d'une nature plus délicate, qui se manifeste d'une manière permanente surtout sur les lignes souterraines et sous-marines, mais qui se produit même sur les lignes aériennes, et qui pourrait troubler la transmission lorsque les appareils, comme l'appareil Hughes par exemple, émettent des courants d'une très courte durée, si l'on n'y portait pas remède.

Cette perturbation est due à *l'induction*.

L'induction trouble les transmissions télégraphiques de deux manières :

1^o Lorsqu'il y a sur les mêmes poteaux ou dans une même direction plusieurs conducteurs rapprochés, toutes les fois qu'on envoie des courants sur l'un d'eux, il se produit immédiatement sur les autres des courants induits directs et inverses (voir page 156).

Ces courants induits passant à travers les récepteurs pourraient troubler les transmissions.

Heureusement ces courants sont généralement très faibles et on peut presque toujours s'arranger de façon à ce que la perturbation qu'ils apportent au travail télégraphique soit négligeable.

Mais si on se sert de récepteurs extrêmement sensibles, il n'en est pas ainsi.

C'est ce qui arrive notamment avec les téléphones. Les courants induits provenant du travail sur les fils voisins

de ceux qui aboutissent à des récepteurs téléphoniques troublent considérablement le fonctionnement de ces récepteurs, car on y reçoit et on y entend très bien les transmissions effectuées sur les fils voisins.

On évite à peu près complètement cet inconvénient et celui qui résulte de la réception de courants dérivés par les terres, en supprimant dans les postes téléphoniques les communications avec la terre et en les remplaçant par un *fil de retour*. Alors, en effet, les courants induits se meuvent à chaque instant en sens inverse dans les

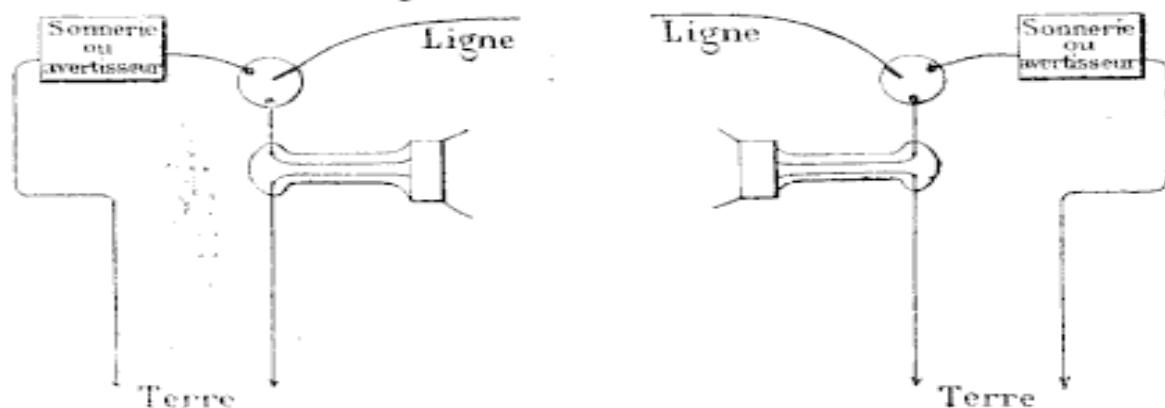


Fig. 154.

deux fils qui relient les deux postes, et peuvent se détruire à peu près complètement.

Il reste, il est vrai, l'inconvénient d'avoir deux fils, au lieu d'un, pour les lignes téléphoniques.

Mais cet inconvénient disparaît lorsque le fil téléphonique doit être *seul* sur des poteaux, par exemple quand il s'agit de relier deux postes secondaires comme pourraient l'être deux bureaux municipaux, car alors en même temps on n'aura plus de courants provenant de la terre comme cela se produit dans le voisinage de grands bureaux télégraphiques où l'on a plusieurs piles dont l'un des pôles est relié à la terre.

L'installation de pareils postes téléphoniques pourra alors se faire comme pour un poste desservi par un appareil ordinaire, ainsi que l'indique la figure 154 ci-contre.

2^e Il y a un autre effet d'induction plus délicat à définir et à mettre en évidence, mais dont l'influence est très sensible sur les appareils complexes et sensibles tels que l'appareil Hughes et les appareils employés dans les systèmes automatiques et multiples.

Bien que nous n'ayons pas parlé de ces appareils, nous croyons néanmoins devoir dire quelques mots des effets d'induction dont il s'agit et dont la connaissance est indispensable à tous les télégraphistes.

Induction d'un courant sur lui-même. Extra-courants. — En considérant qu'un fil métallique peut être regardé comme une sorte de faisceau de fils plus fins formés par des files de molécules juxtaposées, Faraday fut conduit à penser que chacun des fils de ce faisceau pouvait devenir un inducteur par rapport aux fils voisins, ou, en d'autres termes, que lorsqu'un courant s'établit ou cesse dans un conducteur, ou bien varie d'intensité, des effets d'induction doivent se produire dans le fil conducteur même, comme dans un conducteur voisin.

L'expérience réalise ces prévisions et on en déduit la loi suivante :

Lorsqu'un courant commence dans un conducteur, il se produit dans ce conducteur un courant induit inverse : lorsqu'il finit, il se produit un courant induit direct.

On appelle le premier courant induit *extra-courant inverse* ou de *fermeture* (parce qu'il se produit quand on ferme le circuit) ; et le second *extra-courant direct* ou de *rupture* (parce qu'il correspond à la *rupture* du circuit) : le nom même d'*extra-courant* provient de ce qu'on peut les mettre aisément en évidence dans des dérivations, en *dehors* du circuit principal.

A cet effet, on détermine une dérivation M N dans un circuit formé d'une pile P et d'une bobine B (fig. 155) : on place un galvanomètre G dans la dérivation, de telle façon que lorsque le courant passe, il suit la marche indiquée par les flèches *m* ; une portion de ce courant

traverse la dérivation, et l'aiguille $a b$ du galvanomètre vient en $a_1 b_1$.

Pour démontrer l'existence de l'extra-courant de *rupture*, le courant étant établi,

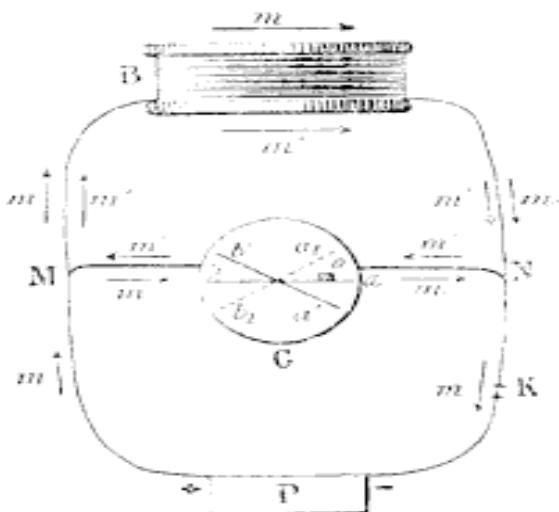


Fig. 455.

et l'aiguille $a b$ étant en $a_1 b_1$, on la ramène à sa position d'équilibre $a b$, et on l'y maintient à l'aide d'un petit bloc de cuivre figuré en o sur la figure. Cela étant, on rompt brusquement le circuit en un point K , et on voit immédiatement l'aiguille dévier en $a' b'$, puis revenir en $a b$.]

D'après la règle d'Am-

père, voir page 106, cette déviation $a a'$ ne peut être due qu'au passage à travers le galvanomètre d'un courant dirigé suivant les flèches m' : ce courant ne peut d'ailleurs s'établir que dans le circuit $NGMBN$ qui est le seul fermé, le reste du circuit $NGMPKN$ étant rompu en K : et l'on voit que dans la bobine B , il a le même sens que le courant primitif: c'est donc bien un extra-courant *direct*.

Pour démontrer l'existence de l'extra-courant de fermeture, le courant passant, on arrête l'aiguille déviée $a_1 b_1$ dans la position qu'elle occupe avec le petit bloc o , de façon qu'elle ne puisse revenir en arrière (fig. 456); puis on rompt le circuit en K : l'aiguille reste en $a_1 b_1$. Cette opération préliminaire ainsi faite, on ferme brusquement le circuit au point K , et on voit immédiatement l'aiguille dévier en $a' b'$, attestant la production d'un courant passant à travers le galvanomètre et la bobine B , dans le sens des flèches m' .

Ce courant a bien, dans la bobine, un sens *inverse* de celui du courant principal; c'est donc bien l'extra-courant *inverse*.

Il est à remarquer que si dans les deux expériences qu'on vient de décrire, on remplace la bobine B par un fil rectiligne de *même longueur*, les effets indiqués deviennent presque insensibles, ce qui prouve bien qu'ils proviennent des actions inductrices des éléments du fil les uns sur les autres.

On peut, du reste, en se fondant sur les lois précédentes, se rendre compte des extra-courants dans les bobines de la manière suivante.

Soit une bobine formée de spires 1, 2, 3, 4, 5, 6... et un courant commençant suivant la flèche m et arrivant dans la spire 1. La propagation du courant n'étant pas absolument instantanée, le mouvement électrique se produira dans la spire 1 avant de se produire dans les autres : il en résultera dans celles-ci des courants induits inverses dans le sens des flèches m' et dont les effets s'ajouteront. Le courant arrivant à la spire 2 produira les mêmes effets, et ainsi de suite : l'extra-courant inverse est la somme des actions individuelles des divers spires. Quand le courant cessera, on s'expliquera d'une façon analogue la production de l'extra-courant direct.

Influence des extra-courants en télégraphie. — 1° Toutes les fois qu'on interrompt un courant sur une

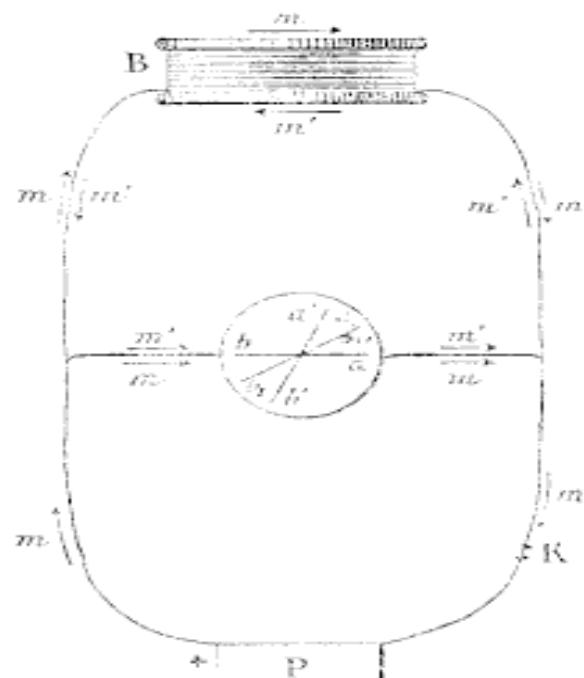


Fig. 157.

ligne télégraphique, il se produit un extra-courant *direct* qui prolonge l'action du courant primitif et retarde l'instant où la palette des électro-aimants obéit à l'action des ressorts antagonistes : d'où un premier inconvénient (fig. 158).

En second lieu, cet effet de l'extra-courant est augmenté par la présence du fer doux de l'électro-aimant : en effet, le noyau se désaimantant produit un courant m' de même sens que le courant m qui l'a

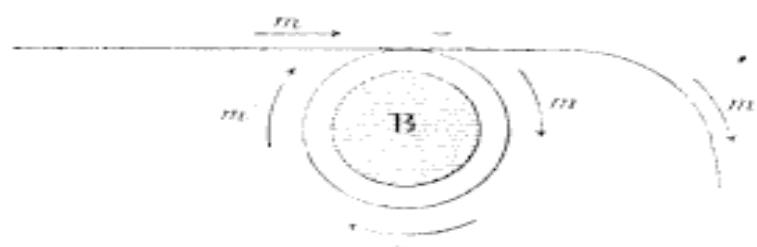


Fig. 158.

aimanté.

3° Quand on fait passer un courant sur une ligne, l'extra-courant inverse retarde l'instant où la palette obéit à l'action des électro-aimants : d'ailleurs, l'aimantation du noyau concourt au même effet en produisant un courant induit *inverse* de celui qui l'aimante. Il en résulte un inconvénient de la même nature que le précédent, quoique moins grave, parce que l'extra-courant inverse est moins intense que l'extra-courant direct.

4° Lorsqu'on sépare les noyaux des électro-aimants de leurs bobines par une carcasse en cuivre, il se produit nécessairement dans ces carcasses, qui constituent les circuits fermés, des courants induits directs et inverses, dont il convient d'éviter la production, en fendant longitudinalement ces enveloppes : la différence de potentiel de ces courants est, en effet, toujours trop faible pour qu'ils puissent se produire à travers la fente. Il vaut évidemment mieux éviter l'emploi de ces enveloppes métalliques ; mais, si on s'en sert, il faut au moins prendre la précaution qu'on vient d'indiquer.

Les courants induits, direct et inverse, dont nous venons de parler, suivent le même circuit que le courant

même, dont la fermeture et la rupture les produisent. Mais, à cause de la grande distance des lignes télégraphiques, ils sont ordinairement insensibles sur les appareils de réception. Pour que le courant induit direct soit sensible sur un récepteur Morse, par exemple, il faut n'opérer que sur une ligne de 40 ou 50 kilomètres au plus, détendre le ressort antagoniste, et placer très rapidement le manipulateur à la position de repos, en rompant le courant: on voit mieux cet effet dans un galvanomètre mis à la place du récepteur. Le sens de la déviation montre d'ailleurs qu'il s'agit d'un courant de même sens que le courant ordinaire.

Dans chaque système d'appareils de transmission ou se met à l'abri des extra-courants par des procédés divers.

Citons seulement le cas de l'appareil Hughes, où les effets de l'extra-courant de rupture sont annulés parce que l'électro-aimant est mis hors du circuit par la came correctrice O et le ressort de contact r_2 (voir page 202) immédiatement après le passage du courant dans cet électro-aimant.

Courants de décharge ou de retour. — Enfin il y a encore un phénomène qui est susceptible dans certains cas de troubler les transmissions télégraphiques.

Au moment où l'on ferme le circuit d'une pile, l'électricité passe immédiatement à travers le circuit; mais avant que la circulation électrique soit telle que la quantité d'électricité qui passe à travers une section du circuit dans l'unité de temps soit constante; avant que le régime électrique permanent ait pu s'établir, il s'écoule un certain temps, pendant lequel les quantités d'électricité qui traversent une section pendant des intervalles de temps égaux sont inégales et vont graduellement en croissant. Cette période, qui se produit toujours au début de tous les courants ordinaires, est habituellement appelée *période ou état variable* du courant; on peut la regarder

der comme la période pendant laquelle s'effectue la *charge* électrique du circuit. Quand le courant cesse, une nouvelle période variable se produit à partir de l'instant où le régime permanent du courant cesse jusqu'au moment où ce courant lui-même a disparu ; cette seconde période est caractérisée par le passage à travers chaque section du circuit de quantités d'électricité variables et décroissantes pendant des temps successifs égaux ; c'est la période de *décharge* du circuit. On distingue ces deux périodes par les noms de *période de charge* et de *décharge*.

Il faut remarquer d'ailleurs que pendant ces périodes, ce n'est pas seulement la *quantité* d'électricité qui varie à chaque instant en chaque point, mais aussi la tension ou *potentiel* qui n'atteint que graduellement en chaque point la valeur définitive qui lui appartient dans l'état permanent du courant, ainsi que cela résulte des lois de Ohm.

Les périodes variables des courants dans de courts circuits bons conducteurs ont une durée excessivement courte. Cette propriété en rend l'étude extrêmement difficile, de sorte que les lois n'en sont pas encore bien exactement connues. Il n'en est pas de même pour les circuits spéciaux complexes qui constituent par exemple les câbles télégraphiques sous-marins : l'établissement d'un courant y exige un temps relativement long par suite de la constitution même de ces circuits, si bien qu'on a pu faire sur eux, au point de vue qui nous occupe, une étude assez complète pour arriver à instituer un travail télégraphique régulier pendant les périodes variables du courant.

On peut juger de la différence des effets dont nous parlons, d'après les résultats suivants déduits de la théorie mathématique de la propagation de l'électricité, et que nous ne pouvons qu'énoncer ici :

1. — *La durée de la période variable de charge, quand l'extrémité du fil est à la terre, dépend de la longueur du fil.*

de sa résistance, de sa capacité électrique : elle est notamment proportionnelle à la capacité, et au carré de la longueur.

Ainsi, pour un fil aérien de 4 millimètres de diamètre et de 500 kilomètres de long, cette durée est d'environ 0,02 de seconde ; si le fil était 2 fois plus long, 1000 kilomètres, la durée serait quadruple, c'est-à-dire d'environ 0,08 de seconde. Pour un câble sous-marin dont le conducteur aurait la même résistance qu'un fil de 4 millimètres, dont la capacité serait 50 fois plus considérable (ce qui est loin d'être exagéré) et qui aurait 500 kilomètres de long, la durée de la période variable serait d'environ 0^s,54, et de 2^s,16 s'il avait 1000 kilomètres.

II. — *La durée de la période variable de charge, quand l'extrémité du fil est isolée, est quatre fois plus longue que lorsque cette extrémité est à la terre.*

Ainsi, pour les fils aériens et sous-marins de 500 kilomètres dont nous venons de parler, cette durée serait, pour le premier d'environ 0^s,08, et pour le second de 2^s,16. C'est en ce cas le temps nécessaire au fil pour prendre en tous ses points le potentiel du pôle de la pile auquel il est relié.

III. — *La durée de la période variable de décharge, quand on met à la terre l'extrémité primitivement reliée à la pile, est égale à celle de charge, dans le premier cas ci-dessus.*

Il y a alors un double courant de décharge par les deux bouts de la ligne. C'est ce qui arrive en télégraphie quand, en interrompant le courant, le manipulateur met immédiatement la ligne à la terre. En opérant ainsi avec un manipulateur Morse, on peut recevoir dans le récepteur le courant de décharge qu'on nomme habituellement *courant de retour*.

IV. — *La durée de la période variable de décharge, quand on isole l'extrémité primitivement reliée à la pile, est 4 fois plus longue que dans le cas précédent.*

C'est ce qui arrive par exemple, quand avec un manipulateur Morse on ne revient pas tout de suite à la position de repos.

D'après cela on voit que les courants de charge et de décharge ou *de retour* ne peuvent réellement produire d'effets nuisibles que sur les lignes sous-marines, où ils ont obligé les ingénieurs électriciens à imaginer des modes particuliers de transmission ; sur les lignes souterraines et aériennes ; ou sur les lignes de longueur relativement petite, mais sur lesquelles on travaille avec des appareils à grande vitesse, c'est-à-dire où la durée d'émission des courants se rapproche de 0^s,01.

Il est alors nécessaire de prendre des dispositions spéciales pour éviter les effets de ces courants : et c'est là précisément l'une des grandes difficultés à lever dans les systèmes d'appareils à transmissions très rapides.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION. — Première idée sommaire d'un système de télégraphie (une leçon).	9
PREMIÈRE SECTION.	
La Pile (12 leçons ¹ dont 6 de chimie).	14
Idée générale d'un élément de pile.	14
Notions élémentaires de chimie	15
Forces. Effets physiques et chimiques. Corps composés et simples.	15
Platine, mercure, fer, zinc, cuivre.	17
Propriétés générales des métaux.	18
Précipitation des métaux de leurs dissolutions.	18
Oxydation	20
Oxygène.	22
Combustion. — Acides, bases, corps neutres. Sels.	24
Respiration.	26
Air. Azote. Analyse de l'air.	28
Hydrogène et eau.	32
Préparation et propriétés de l'hydrogène	32
Réduction des oxydes	33
Composition de l'eau.	36
Ammoniaque.	37
Charbon ou carbone	39
Soufre. Acide sulfurique. Sulfates	42
Acides sulfureux, sulfurique anhydre, sulfurique hydraté ou sulfate d'eau.	43

1. Les chiffres placés à côté des titres de chaque section indiquent le nombre approximatif des leçons qu'on y peut consacrer.

TABLE DES MATIÈRES

Propriétés de l'acide sulfurique hydraté.	45
Sulfates de zinc, de cuivre, de mercure.	46
Réduction des sulfates par l'hydrogène.	48
Chlore et chlorures	49
Des actions qui se produisent dans un élément de pile.	
Hypothèse des deux fluides électriques.	56
Fluides positif, négatif, neutre	59
Conductibilité et résistance électriques.	60
Corps bons conducteurs, corps mauvais conducteurs ou isolants.	61
Éléments formant un circuit ouvert.	61
Électrisation du zinc et de l'acide.	61
Actions sur les corps légers.	62
Distinction de la tension ou potentiel électrique et de la quantité d'électricité.	66
Quantité et niveau d'un liquide.	66
Quantité de chaleur et température.	67
Différence de tension ou de potentiel sur le zinc et l'acide d'un élément de pile.	68
Tension de la terre.	68
Capacité calorifique et électrique.	69
Quantité d'électricité et tension dans un élément.	70
— dans un groupe d'éléments	72
Accouplement des éléments en tension	72
Accouplement en surface ou quantité.	73
Pile. Pôles positif et négatif.	73
Éléments formant un circuit fermé.	75
Courant électrique intérieur.	77
Sens du courant. — Rhéophores. Électrodes.	79
Effets qui démontrent l'existence du courant extérieur.	
I. Décomposition de l'eau acidulée. — Voltamètre.	80
II. Décomposition des sels métalliques.	82
III. Action sur une aiguille aimantée.	84
IV. Effets calorifiques et lumineux.	84
Intensité d'un courant.	85
Causes d'affaiblissement du courant de la pile à un seul liquide.	85
Piles à deux liquides	88
Pile de Daniell.	88
Pile Callaud.	89
Pile Marié-Davy	91
Pile Bunsen	91
Pile Leclanché.	92
Indications pratiques sur les piles.	95

DEUXIÈME SECTION.

LE COURANT ÉLECTRIQUE ET LA BOUSSOLE OU GALVANOMÈTRE (9).	97
Notions de magnétisme	97
Aimants naturels.	97
Pôles d'un aimant : ligne neutre.	98
Boussole marine.	100
Communication du magnétisme.	100
Procédés d'aimantation.	101
Aimantation de l'acier et du fer doux.	102
Armures ou armatures des aimants.	103
Système astatique d'aiguilles aimantées.	104
Action des courants sur les aimants.	105
Expériences d'Erstedt.	106
Sens de la déviation. Règle d'Ampère.	106
Grandeur de la déviation. Multiplicateur.	106
Galvanomètres	109
Galvanomètre ordinaire ou boussole.	109
Boussole de sinus.	110
Galvanomètre de Nobili.	112
Galvanomètre de M. W. Thomson.	114
Rapport entre l'intensité d'un courant et la déviation d'un galvanomètre	114
Résistance électrique d'un circuit conducteur.	116
Lois de Ohm ou de Pouillet.	118
Unités de résistance.	119
Lois suivant lesquelles varie l'intensité d'un courant.	121
Unité de force électromotrice ou de différence de ten- sion ou potentiel	124
Influence de la disposition particulière des éléments de pile sur l'intensité	125
Influence de leur mode de groupement.	126
Notions sur les courants d'induction	154

TROISIÈME SECTION.

LE MANIPULATEUR (4).	141
Manipulateur à cadran de Bréguet	142
Manipulateur Morse.	144

Manipulateur Hughes	146
Manipulateur inverseur	151
Manipulateurs à intensités variables	
Transmetteurs microphoniques et téléphoniques	155

QUATRIÈME SECTION.

LA LIGNE TÉLÉGRAPHIQUE (2)	157
Lignes aériennes	158
Lignes souterraines	162
Lignes sous-marines	164

CINQUIÈME SECTION.

L'ÉLECTRO-AIMANT ET LE RÉCEPTEUR (9)	168
Aimantation de l'acier par un courant	169
Aimantation du fer doux	169
Magnétisme rémanent	
Électro-aimant	169
Électro-aimants ordinaires	
Électro-aimants à noyaux et armatures aimantées	172
Électro-aimants à trembleur	175
Récepteurs télégraphiques	176
Récepteur à cadran	176
Récepteur Morse	181
Relais	186
Parleur	189
Parleur à armature aimantée	190
Sonnerie	192
Récepteur Hughes	195
Récepteur pour les lignes sous-marines	209
Récepteur microphonique et téléphonique	210

SIXIÈME SECTION.

LA TERRE AU POINT DE VUE ÉLECTRIQUE (1)	212
---------------------------------------------------	-----

SEPTIÈME SECTION.

LE TRAVAIL TÉLÉGRAPHIQUE (6)	221
Travail télégraphique régulier	221
Communications entre deux postes	222

TABLE DES MATIÈRES

261

Double relais.	222
Communication entre plusieurs postes.	224
Commutateurs	224
Communication par translation.	229
Communication par interposition ou embrochage.	230
Communication par dérivation.	231
Rappel par inversion de courant	235
Perturbations au travail régulier ou dérangements.	234
Perturbations atmosphériques.	235
Aurores boréales.	237
Électricité atmosphérique. Effets caloriques et lumineux de l'électricité. Étincelle électrique. Éclairs.	239
Paratonnerres télégraphiques	240
Dérangements provenant des lignes ou des communications intérieures dans les postes télégraphiques.	245
Dérangements à l'intérieur des appareils de manipulation ou de réception.	247
Effets d'induction. — Extra-courants. — Courants de retour.	247



Typographie A. Lahure, rue de Fleurus, 9, à Paris.