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 nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

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

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

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

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	**Montoriol, Emile (1865-19..)**
Titre	**Télégraphie : cours sur l'appareil Hughes et les lignes souterraines**
Adresse	**Paris : H. Dunod et E. Pinat, éditeurs, 1909**
Edition	**Deuxième édition augmentée, mise à jour**
Collation	**1 vol. (480 p.) : ill., tabl. ; 22 cm**
Nombre d'images	**483**
Cote	**CNAM-BIB 8 Sar 294**
Sujet(s)	**Lignes électriques souterraines** **Télégraphe -- Appareils et matériel**
Thématique(s)	**Technologies de l'information et de la communication**
Typologie	**Ouvrage**
Langue	**Français**
Date de mise en ligne	**21/01/2021**
Date de génération du PDF	**20/01/2021**
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8SAR294

TÉLÉGRAPHIE

L'APPAREIL HUGHES

PAR E. MONTORIOL

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COURS SUR L'APPAREIL HUGHES

ET

LES LIGNES SOUTERRAINES

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SCEAUX. — 1310. CHARAIRE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sar 291

TÉLÉGRAPHIE

COURS

SUR

L'APPAREIL HUGHES

ET

LES LIGNES SOUTERRAINES

PAR

E. MONTORIOL

SOUS-CHEF DE SECTION

CI-DEVANT CHARGÉ DES COURS THÉORIQUES HUGHES ET BAUDOT

AU POSTE CENTRAL DES TÉLÉGRAPHES DE PARIS

Ouvrage honoré de la souscription de l'Administration pour ses Bibliothèques départementales.

DEUXIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE — MISE A JOUR

PARIS

H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs,

49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

1909

Tous droits de reproduction et de traduction réservés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COURS SUR L'APPAREIL HUGHES

ET

LES LIGNES SOUTERRAINES

AVANT-PROPOS

Le présent Cours s'adresse aux Agents manipulants. Il a pour but de les mettre en état de comprendre l'appareil qu'ils manœuvrent, de l'entretenir en bon état, d'en opérer eux-mêmes le réglage raisonné et approprié aux circonstances, de rechercher méthodiquement les dérangements qui pourraient s'y produire; en un mot, de ne faire appel à l'intervention du mécanicien que dans le cas de rupture de pièces ou d'avaries nécessitant, pour leur réparation, l'expérience et l'adresse professionnelles de ce dernier.

L'exécution de ce programme exigera non seulement la description minutieuse et détaillée de l'appareil Hughes, mais encore l'étude des conditions électriques ordinaires des lignes aériennes et souterraines, ainsi que des phénomènes accidentels dont elles peuvent être le siège. Cette étude, tout en restant nécessairement dans le domaine élémentaire, doit permettre à l'Employé de mettre, à chaque instant, son appareil en harmonie avec l'état de la ligne sur laquelle il opère. Enfin, une description de quelques

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

systèmes de relais complétera le tout, en mentionnant les différents dispositifs adoptés pour protéger les signaux contre les influences perturbatrices extérieures.

Dans le but de rendre plus facile, de dégrossir, en quelque sorte, la besogne, il nous a paru avantageux de commencer par une revue très rapide des principes de mécanique et d'électricité dont nous aurons, chemin faisant, à examiner l'application; ce résumé n'a d'ailleurs d'autre prétention que celle de constituer une sorte de vocabulaire, auquel l'Elève pourra se reporter, le cas échéant; — et d'éviter ainsi, au cours de nos leçons, l'ouverture de parenthèses trop nombreuses et toujours gênantes.

Tel est l'esprit dans lequel va se poursuivre ce Cours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIÈRE PARTIE

Éléments de mécanique et d'électricité.

I

ÉLÉMENTS DE MÉCANIQUE

Idée générale des forces : inertie. — La mécanique se définit : « science du mouvement ». Or, le mouvement est produit par des forces.

En effet, la matière est *inerte*, c'est-à-dire qu'un corps au repos est incapable de se mettre de lui-même en mouvement; de même, s'il est en mouvement, il ne peut spontanément s'arrêter ni modifier en rien son état de mouvement. L'homme, les animaux, susceptibles de se déplacer, de se mouvoir, sous l'effet de leur propre volonté, semblent faire exception à cette règle : il n'en est rien cependant; cette faculté ne leur est pas octroyée par des propriétés particulières à la matière qui les constitue; elle est le résultat des fonctions multiples et complexes de leur organisme, en un mot, de la vie dont ils sont animés. Dès que la vie cesse, leur corps devient immobile, inerte comme une pierre ou un objet matériel quelconque.

De la loi générale d'inertie, que nous venons d'énoncer, il résulte qu'un corps que nous lançons dans l'espace conserverait *éternellement* sa vitesse première si la résistance de l'air, la pesanteur, n'agissaient à chaque instant sur lui, comme des forces contraires à celle qui lui a donné l'impulsion.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On appellera donc *force* toute cause capable de produire, de faire varier ou d'arrêter un mouvement.

Les forces, comme la matière, sont impérissables, c'est-à-dire que l'homme ne peut ni les créer ni les détruire; elles sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres avec une extrême facilité : par suite, une force quelconque est toujours engendrée par une autre et peut, à son tour, donner naissance à telle autre force qu'on voudra. A l'encontre de ce que l'on observe pour la matière, les forces ne se combinent jamais entre elles.

Les forces naturelles peuvent se diviser en trois catégories :

1° Les forces physiques : pesanteur, chaleur, électricité, lumière;

2° Les forces chimiques : affinité;

3° Les forces vitales.

Une force est déterminée par trois éléments :

1° Le *point d'application*, qui influe sur la direction que prendra le mobile. Ainsi une bille de billard suivra des directions différentes, suivant qu'on l'attaquera à droite, au milieu, à gauche, etc.;

2° La *direction* ou le sens du mouvement que la force imprime au mobile;

3° L'*intensité* ou la valeur numérique de l'effort.

Pour mesurer une force, il faut la comparer à une autre force, prise comme unité. L'unité qu'on a choisie est la force de la pesanteur sur un décimètre cube d'eau, c'est-à-dire le kilogramme.

Lorsque deux forces agissent sur un même corps, dans la même direction, elles s'ajoutent; mais si les directions sont inverses, elles tendent à se neutraliser. Si les deux forces sont égales et contraires, le corps soumis à leur action reste immobile, comme si les forces n'agissaient pas : on dit alors qu'il est en *équilibre*. Il faut donc distinguer l'état de repos de l'état d'équilibre : le premier indique l'état d'un corps qui ne se déplace pas et n'éveille aucune idée de force; le second, au contraire, s'applique à un corps qui, sollicité

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par plusieurs forces, se trouve soustrait à leur action par leur neutralisation réciproque.

Centre de gravité. — Toutes les molécules d'un corps étant pesantes, sont sollicitées à se rapprocher du centre de la terre par des forces parallèles, dont la résultante s'appelle le poids. Cette résultante mesure la pression qu'exercerait ce corps dans le vide, sur un plan horizontal s'opposant à sa chute.

On admet que les corps sont formés d'une multitude de molécules juxtaposées, séparées les unes des autres par des intervalles et ne se touchant point. On appelle *densité* d'un corps la masse ou la quantité de matière qu'il contient sous l'unité de volume.

Le *centre de gravité* pourrait s'appeler le « centre de poids ». Sa détermination permet de faire abstraction de l'action de la pesanteur sur chaque molécule, en ne considérant que ce seul point, le centre de gravité, qui serait sollicité par une force unique et égale au poids du corps. Pour que ce dernier soit en équilibre, il suffira donc de soutenir son centre de gravité par un point, un axe ou un plan fixe : le poids du corps sera détruit par la résistance du ou des points d'appui.

On distingue trois sortes d'équilibre :

1° L'*équilibre stable*, dans lequel le centre de gravité est au-dessous du point d'appui. C'est celui d'une boule ou d'un objet quelconque suspendu au bout d'un fil : la verticale passant par le point d'appui passera également par le centre de gravité de l'objet; si l'on vient à l'écarter de cette position, il tendra à y revenir, en exécutant autour d'elle des oscillations semblables à celles du balancier d'une horloge;

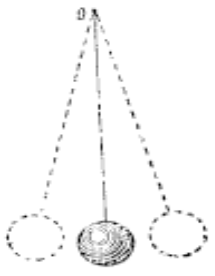


Fig. 1.

2° L'*équilibre instable*, dans lequel le centre de gravité est au-dessus du point d'appui : c'est celui d'un corps reposant sur un plan horizontal. S'il n'y a qu'un point de contact avec ce plan, comme dans la figure ci-contre, il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faut, pour que l'équilibre soit réalisé, que la verticale abaissée du centre de gravité passe par ce point ; s'il y en a plusieurs, ladite verticale devra tomber à l'intérieur du polygone formé par la réunion de ces points;

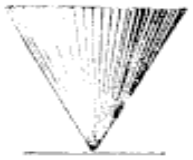


Fig. 2.

3° L'*équilibre indifférent*, dans lequel le centre de gravité ne peut ni s'élever (équilibre stable) ni s'abaisser (équilibre instable); c'est celui d'une roue bien centrée, dans laquelle le centre de gravité se trouve exactement sur l'axe qui la soutient. Dans ces conditions, on pourra faire prendre à la roue des positions quelconques, sans jamais en trouver une dont les points diamétralement opposés cessent de s'équilibrer.

Idée générale du mouvement. — Le mouvement est l'état d'un corps qui occupe successivement différentes positions dans l'espace.

Un mouvement est caractérisé par deux facteurs : sa trajectoire et le chemin parcouru dans un temps donné.

Le mouvement sera dit *rectiligne*, *circulaire*, *parabolique*, etc., suivant que sa trajectoire sera une ligne droite, une circonférence, une parabole, etc. Il sera *continu* s'il se poursuit toujours dans le même sens et *alternatif* si, à certains moments, le corps revient sur lui-même pour reprendre ensuite sa direction première.

Le mouvement sera *uniforme* si le mobile parcourt toujours les mêmes espaces dans le même temps; on aura un mouvement *varié* dans le cas d'espaces inégaux. Ce dernier mouvement résulte nécessairement d'une force continue qui sollicite le mobile pendant toute la durée de son mouvement, soit pour en accélérer soit pour en ralentir la vitesse. Par exemple, lorsqu'un corps tombe librement dans le vide, si, au bout de la première seconde, l'action de la pesanteur pouvait être supprimée, ce corps continuerait à se mouvoir, en vertu de son inertie, mais d'un mouvement uniforme et en conservant la vitesse alors acquise; mais la pesanteur continuant à agir, le corps tombera de plus en plus vite : on aura alors un mouvement *uniformé-*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment accéléré. Lorsqu'on voudra exprimer la valeur d'une vitesse, il suffira d'énoncer le chemin parcouru (en mètres ou centimètres) par seconde. Toutefois, lorsqu'il s'agira d'un mouvement de rotation, on pourra mesurer l'angle décrit par un point quelconque dans l'unité de temps : c'est ce qu'on appelle la *vitesse angulaire* du mobile, par opposition avec la première, qui est la *vitesse linéaire*. Ainsi, la Terre accomplissant une révolution complète autour de son axe en 24 heures, on dira que sa vitesse angulaire est de 15° par heure; au contraire, la vitesse linéaire d'un point géographique donné dépend de sa latitude et devient de plus en plus grande au fur et à mesure qu'on s'éloigne des pôles pour se rapprocher de l'équateur.

Lorsque le mouvement de rotation d'un mobile est très rapide, on exprime la valeur de sa vitesse angulaire par le nombre de révolutions effectuées dans l'unité de temps. On dira, par exemple, que la roue des types d'un appareil Hughes fait 120 tours par minute ou 2 tours par seconde.

Force centrifuge. — La force centrifuge est la force qui tend à éloigner du centre tout corps animé d'un mouvement de rotation. Si, par exemple, on fait tourner rapidement une pierre dans une fronde, on voit d'abord la corde se tendre, puis, si on vient à la lâcher, la pierre, en vertu de son inertie, continue le mouvement avec la vitesse qu'elle avait l'instant d'avant, mais en ligne droite et suivant la tangente au point où elle est devenue libre (il est bien entendu que, sous l'action de la pesanteur, la trajectoire deviendra ensuite une parabole). La force centrifuge résulte donc de l'obligation dans laquelle se trouve la pierre de décrire une circonférence, ce qui se manifeste par la tension de la corde et une traction transmise par celle-ci sur le centre de rotation.

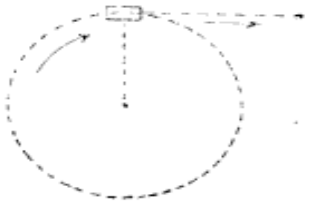


Fig. 3.

Cette traction sur le centre a reçu de nombreuses applications, notamment dans les régulateurs d'appareils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

télégraphiques. Nous en verrons l'effet dans quelques systèmes en usage.

La force centrifuge est proportionnelle à la masse. Si l'on envisage la vitesse linéaire, c'est-à-dire le chemin parcouru dans l'unité du temps, elle est proportionnelle au carré de la vitesse et inversement proportionnelle au rayon décrit $\left(\frac{mv^2}{r}\right)$. S'il s'agit d'une vitesse angulaire, la force centrifuge est proportionnelle à la masse, au carré de la vitesse angulaire et au rayon décrit $(m\omega^2 r)$.

Travail. Puissance. — Il y a travail chaque fois qu'une force parcourt un chemin; la réunion de ces deux facteurs, force et chemin parcouru, est indispensable : par exemple, un édifice presse, par son poids, sur le sol; c'est là une force; mais, comme il n'y a pas de chemin parcouru, cet édifice ne fait pas un travail. De même, un débardeur qui, portant une charge sur son dos, resterait en place, ne travaillerait pas, au sens qu'on donne à ce mot en mécanique.

On ne peut pas toujours évaluer exactement un travail : ainsi, lorsqu'un homme pousse une brouette sur laquelle repo e une certaine charge, on a bien, pour évaluer le travail qu'il produit, un premier élément, qui est le chemin parcouru; mais la force ne peut pas être représentée par la charge, car le sol, par l'intermédiaire de la roue de la brouette, en porte une partie : c'est pourquoi on compare toujours un travail à l'élévation verticale d'un poids donné à une certaine hauteur. On emploie généralement, comme terme de comparaison, et pour les travaux ne dépassant pas une certaine limite, le *kilogrammètre*. C'est le travail qu'on effectue lorsqu'on élève un poids de 1 kilogramme à un mètre de hauteur. On peut, sans changer la valeur du travail, augmenter l'un des facteurs, à la condition de diminuer l'autre dans la même proportion, de telle sorte que le produit reste constant. Ainsi on fournira un travail de 1 kilogrammètre lorsqu'on élèvera 1 kilogramme à 1 mètre, ou 10 kilogrammes à 10 centimètres, 100 kilogrammes à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1 centimètre, et ainsi de suite. Il est à remarquer que le temps employé à l'effectuer n'entre pas dans l'évaluation d'un travail. Celui-ci pourra être exécuté par des hommes ou des machines de *puissances* très différentes, sans que sa valeur en soit modifiée, quel que soit le temps employé par chacun d'eux. On ne fera intervenir ce dernier facteur que lorsqu'on voudra caractériser la *puissance* des machines. On dira, par exemple, que l'une est susceptible de fournir un travail de 1 kilogrammètre par seconde; que l'autre peut élever, en une seconde, 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur, c'est-à-dire produire un *cheval-vapeur*. Le cheval-vapeur est l'unité couramment employée dans l'industrie pour évaluer les puissances; le Congrès international de mécanique appliquée de 1889 a adopté une nouvelle unité, le *poncelet*, égale à 100 kilogrammètres par seconde et plus commode que la précédente en ce qu'elle rentre dans le système décimal et correspond sensiblement à l'unité de puissance électrique, le kilowatt. Il ne semble pas, jusqu'à présent, que ces avantages aient triomphé de la routine, et l'on continue à exprimer la puissance des machines en chevaux-vapeur.

Pour effectuer un travail, la puissance doit vaincre l'effort en sens inverse exercé par la résistance : on dit alors que *le travail moteur est égal au travail résistant*. Mais ces travaux, tout en restant égaux, pourront être constitués par des facteurs très différents; si donc, à un travail moteur déterminé, on veut opposer un travail résistant égal et que l'un des facteurs — poids ou chemin parcouru — vienne à varier, il faut que l'autre varie, en sens inverse et dans la même proportion, pour que le produit reste constant. Si, par exemple, la résistance vaincue augmente, le chemin qu'elle parcourt diminue, ou, suivant l'expression consacrée, *on gagne en force ce qu'on perd en vitesse*; inversement, si la résistance diminue, la vitesse augmente : *on gagne en vitesse ce qu'on perd en force*. Nous étudierons plus loin l'application de ce principe (V. leviers, engrenages, etc.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Transmission du mouvement. Choc. — Lorsqu'on applique une force sur un point d'un corps, le mouvement qui en résulte ne se transmet pas instantanément à toutes les parties de ce corps : les molécules sur lesquelles la force agit directement se mettent d'abord en mouvement; elles se rapprochent ou s'éloignent des molécules voisines. L'équilibre, qui existait précédemment, est troublé, et ces molécules voisines se mettent à leur tour en mouvement, entraînant ainsi, de proche en proche, toutes les molécules. On peut avoir une idée de ce phénomène (toutes proportions gardées bien entendu) en voyant démarrer un train de marchandises : la machine met d'abord en marche le premier wagon, qui entraîne le second, celui-ci communique un peu plus tard le mouvement au troisième, et ainsi de suite jusqu'au dernier : entre le moment où la puissance a agi et celui où tout le train est en marche, il s'est écoulé un temps appréciable, dépendant du serrage plus ou moins grand de l'attelage des wagons.

Lorsqu'un corps en mouvement en rencontre un autre qui est au repos ou n'a pas le même mouvement, il se produit un choc; les molécules en présence tendent à se transmettre réciproquement leur mouvement. Mais cette transmission ne pouvant avoir lieu instantanément, ainsi qu'il vient d'être dit, il y aura déformation des deux corps. Si ceux-ci sont dépourvus d'élasticité, ils ne tendront en aucune manière à reprendre leur forme primitive : le choc sera terminé aussitôt qu'ils auront des vitesses égales et ils se mouvront ensuite ensemble, sans se séparer. Si les deux corps, au contraire, sont élastiques et si, bien entendu, la déformation qu'ils ont subie n'a pas dépassé la limite de leur élasticité, le choc ne restera pas terminé au moment où les vitesses seront devenues égales : en revenant à la forme qu'ils avaient avant le choc, les deux corps se repousseront. C'est le cas de deux billes de billard qui, après s'être heurtées, se séparent et continuent à s'éloigner l'une de l'autre.

Vitesse acquise. — On appelle « vitesse acquise »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la vitesse dont est animé un corps au moment où la force qui l'a produite cesse d'agir. Cela constitue, en réalité, un emmagasinement de force, qui pourra être récupérée sous forme de travail. Le marteau lancé par le forgeron, le « mouton » dont on se sert pour enfoncer les pieux, restituent, au moment du choc, le travail qu'il a fallu effectuer pour les élever.

Une voiture est lancée au grand trot : elle est, de même que l'homme qui la conduit, animée d'une quantité de vitesse acquise, qui résulte du travail accompli par le cheval. Soudain, la bête trébuche et tombe, la voiture s'arrête brusquement et l'homme est projeté en avant : c'est la vitesse acquise qui l'a ainsi lancé, et celle-ci n'est autre qu'une manifestation de l'inertie.

L'intensité plus ou moins grande de la vitesse acquise par un corps détermine des effets différents : ainsi, si l'on lance légèrement une balle de plomb contre un carreau de vitre, l'élasticité la fait rebondir, sans que le carreau soit brisé; si l'impulsion est assez forte, le verre s'étoile de fentes, qui rayonnent au point où la balle a frappé; enfin, si cette dernière est lancée par une arme à feu, elle traverse le carreau en ne produisant qu'un trou rond, d'un diamètre égal au sien.

La *force vive* d'un corps en mouvement est égale au produit de sa masse par le carré de sa vitesse à l'instant envisagé ($f = m\,v^2$). La *puissance vive* représente la moitié de cette valeur $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$: tout corps en mouvement peut produire un travail mécanique égal à sa puissance vive.

Résistances passives. — D'après la loi de l'inertie, un corps mis en mouvement et abandonné à lui-même, devrait se mouvoir indéfiniment, dans la même direction et avec la même vitesse. Cependant, l'expérience nous montre que ce corps finit toujours par s'arrêter, au bout d'un temps plus ou moins long. Les anciens philosophes expliquaient ce fait en attribuant à la matière un certain penchant pour le repos. En réalité, les corps mis en mou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vement ne conservent pas cet état à cause des *pertes de travail*, des *résistances passives*, qui se produisent à chaque instant, ces pertes et ces résistances ne pouvant exister qu'aux dépens de la force qui a engendré le mouvement.

Des nombreuses causes de pertes de travail, nous ne retiendrons que quelques-unes, telles que

1° L'ébranlement des supports;

2° Les changements brusques de mouvement;

3° Les frottements.

Nous ne citerons que pour mémoire la résistance des milieux, la raideur des cordes, etc.

1° *Ebranlement des supports.* — Un corps mobile communique une partie de son mouvement aux corps qui le supportent : une voiture, passant dans la rue, ébranle plus ou moins le sol et les maisons voisines; un train de chemin de fer produit une trépidation beaucoup plus considérable. Dans nos salles de transmissions, un appareil en marche fait vibrer tout le « tambour » auquel il appartient. Ce mouvement communiqué constitue évidemment un travail, mais un travail inutile, perdu, qui présente, en outre, l'inconvénient de détériorer les supports ;

2° *Changements brusques de mouvement.* — Si l'on change brusquement le sens du mouvement d'une pièce de machine, la quantité de vitesse acquise qu'elle possède à ce moment doit se dépenser à des travaux inutiles, avant de pouvoir être remplacée par une nouvelle quantité de mouvement en sens inverse ;

3° *Frottements.* — Lorsqu'on cherche à faire glisser un corps pesant sur une table, on constate entre les molécules du corps et la table une adhérence qui s'oppose à leur séparation, et, pour vaincre cette résistance, on est obligé d'appliquer au corps une certaine force de traction. C'est cette adhérence qu'on appelle *frottement*. Il faut en tenir compte dans la mécanique appliquée, car elle s'ajoute aux résistances en vue desquelles la machine est employée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a classé les frottements en deux catégories bien distinctes :

a) Le frottement de glissement ;

b) Le frottement de roulement.

Le déplacement d'un même corps offre des résistances très différentes, suivant qu'on se trouve en présence de l'un ou de l'autre de ces frottements.

a) *Frottement de glissement.* — Il y a frottement de glissement chaque fois qu'un point du corps frottant rencontre deux points consécutifs du corps frotté. Dans l'exemple qui nous a servi à définir le frottement, c'est, évidemment, d'un glissement qu'il s'agit. L'adhérence dont nous avons parlé dépend non seulement du poids du corps à déplacer, mais aussi de la nature des deux corps en présence, frottant et frotté. C'est ainsi que le plomb a un coefficient de frottement beaucoup plus grand que l'acier trempé. Pour deux substances données, le frottement est proportionnel à la pression exercée par l'un des corps sur l'autre et quelle que soit l'étendue des surfaces en contact.

b) *Frottement de roulement.* — Il y a frottement de roulement chaque fois qu'un point du corps frottant ne peut rencontrer deux points consécutifs du corps frotté.

Le frottement de roulement entraîne une résistance de beaucoup inférieure à celle qu'engendre le frottement de glissement. On sait, en effet, qu'il suffit d'attacher les roues d'une voiture pour mettre le cheval dans l'impossibilité de la démarrer, alors que, dans les conditions ordinaires, il l'entraîne avec facilité. Cela tient à ce que, dans le premier cas, il y a, sur le sol, un frottement de glissement, substitué au frottement de roulement, qui se produit en temps normal. Comme le précédent, ce dernier augmente avec la pression ; il est, en outre, inversement proportionnel au rayon du cylindre roulant.

Transformation du frottement de glissement en frottement de roulement. — On trouvera donc un grand avantage, toutes les fois qu'il sera possible de le faire, à transformer le frottement de glissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en frottement de roulement. C'est ainsi qu'on voit les maçons intercaler, entre le sol et les blocs qu'ils ont à déplacer, des rouleaux, en bois, grâce auxquels ils font « rouler » lesdits blocs au lieu de les faire « glisser » sur le sol.

Ce serait une erreur de croire que les corps circulaires engendrent seulement des frottements de roulement. Ainsi, l'axe d'une roue glisse sur son palier. La transformation en roulement pourra donc, là aussi, être avantageusement pratiquée. Dans la construction des bicyclettes, par exemple, on l'a réalisée en intercalant, entre les axes et leurs paliers, des « billes » en acier, qui roulent entre les deux pièces en présence : une légère impulsion sur l'une des roues, soulevée de terre, la fait tourner pendant un temps qui étonne, si on le compare à celui pendant lequel une autre roue, à montage ordinaire, aurait conservé le mouvement sous la même impulsion.

Graissage. — L'introduction d'huile entre les surfaces frottante et frottée produit un effet analogue à celui des billes et diminue ainsi considérablement le frottement. Si l'huile vient à manquer, l'élévation de température qui résulte du frottement, d'une part, l'humidité de l'air, d'autre part, déterminent l'oxydation des surfaces métalliques et il se produit une matière terreuse, qui s'interpose et entrave le mouvement. L'huile, qu'on introduira ensuite, doit être susceptible de se combiner avec cet oxyde pour former un cambouis.

Leviers. — Nous avons vu plus haut (p. 12) qu'un travail de 1 kilogrammètre — produit d'une force par un chemin parcouru — peut être engendré d'une infinité de manières, suivant la valeur relative de chacun des deux facteurs. Cela nous conduit à constater qu'avec ses seuls moyens l'homme serait fréquemment dans l'impossibilité absolue d'exécuter certains travaux, non pas à cause de leur quantité, mais à cause de leur composition. Par exemple, un homme, si robuste qu'il puisse être, n'arrivera jamais à soulever un poids de 1,000 kilogrammes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 1 millimètre; pas davantage il ne pourra lancer un objet pesant 1 gramme à 1 kilomètre de hauteur. Cependant, dans un cas comme dans l'autre, s'il y parvenait, il n'aurait produit qu'un travail de 1 kilogrammètre (si l'on fait abstraction, dans le second, de la résistance de l'air). Cela tient à ce que, dans celui-ci, le chemin à parcourir est trop grand; dans celui-là, la résistance est trop forte. Il a donc fallu imaginer des outils ou des machines susceptibles de transformer le travail, en diminuant le facteur trop grand pour augmenter proportionnellement le facteur trop petit. Dans ces conditions, le travail, tout à l'heure impossible, s'effectuera avec la plus grande facilité et presque sans fatigue.

En tête de la liste de ces engins de transformation, se place le *levier*.

Un levier est une pièce solide, mobile autour d'un point fixe appelé « point d'appui » et sollicité par deux forces, qui tendent, chacune, à lui imprimer un mouvement en sens contraire; l'une de ces forces se nomme la « puissance » et l'autre la « résistance ».

On a classé les différentes sortes de leviers en trois genres, suivant la position relative des trois éléments : point d'appui, puissance, résistance.

Levier du premier genre. — Dans le levier du premier genre, le point d'appui est au milieu, la puissance et la résistance aux extrémités. Si le point d'appui est exactement à égale distance des extrémités, il n'y a pas transformation du travail : c'est le cas de la balance de Roberval. Un kilogramme placé dans l'un des plateaux, équilibre un kilogramme posé dans l'autre et le chemin parcouru est identiquement le même des deux côtés (fig. 4). On dit alors que les deux bras du levier sont égaux.

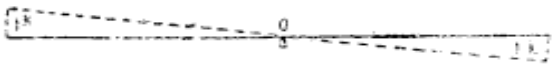


Fig. 4.

Si, au contraire, les deux bras de levier sont inégaux, l'intensité des forces est en raison inverse et le chemin parcouru en raison directe de la longueur des bras de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

levier. Dans la bascule, par exemple, le bras qui supporte les poids (la puissance) est dix fois plus long que celui qui reçoit la résistance. Il s'ensuit que 1 kilogramme sur l'extrémité du premier équilibrera 10 kilogrammes sur le second et qu'un déplacement de 1 centimètre de ce dernier correspondra à un chemin de 10 centimètres parcouru par la puissance. Le travail effectué aux deux extrémités n'est pas représenté par les mêmes facteurs mais le produit de ces derniers est identique ($1 \times 0{,}10 = 10 \times 0{,}01$) : *le travail moteur est égal au travail résistant.*

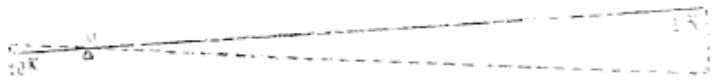


Fig. 5.

Parmi les leviers du premier genre, on rencontre les outils les plus divers, tels que la pince de paveur, les ciseaux de toutes sortes, les tenailles, les pinces de mécanicien.

Levier du deuxième genre. — Le levier est du deuxième genre lorsque la résistance est appliquée entre la puissance et le point d'appui : la brouette, le casse-noisette, le levier avec lequel les maçons soulèvent les blocs de pierre, rentrent dans cette catégorie.

Levier du troisième genre. — Dans le levier du troisième genre, la puissance est placée entre le point d'appui et la résistance, comme les pincettes, la pédale du rémouleur, les os longs de notre squelette, etc.

Excentriques. Cames. — On appelle « excentrique » toute pièce solidaire d'un axe animé d'un mouvement circulaire et dont les différents points de périphérie ne sont pas à égale distance du centre de rotation. Les excentriques, les cames, peuvent affecter les formes les plus diverses, suivant le rôle qu'ils sont appelés à jouer. Dans tous les cas, ils sont susceptibles de communiquer à un levier la puissance

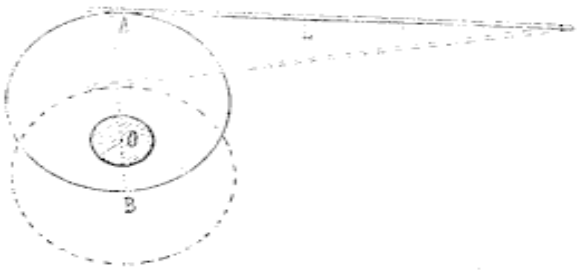


Fig. 6.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui doit le faire agir. Par exemple, si l'on fait mouvoir autour d'un point O, situé en dehors de son centre, un disque sur lequel s'appuie un levier L, celui-ci sera soulevé lorsque passera le rayon OA et occupera, à ce moment, le point le plus élevé de sa course; il sera, au contraire, au point le plus bas lorsque l'excentrique lui présentera le rayon OB, après avoir, dans l'intervalle, occupé successivement toutes les positions intermédiaires entre ces deux extrêmes. Un mouvement continu du disque amènera donc une suite de relèvements et d'abaissements du levier qu'il commande.

Poulie. — Une poulie est constituée par un disque dont le pourtour est entaillé d'une rainure ou « gorge »; le profil de cette dernière diffère, suivant la forme, la nature de la corde ou de la chaîne qu'on y fera passer; l'axe est quelquefois solidaire de la poulie, et tourne alors librement dans la « chape » qui le soutient. Dans d'autres cas, l'axe est fixé à la chape et passe à frottement doux dans une ouverture circulaire, pratiquée au centre de la poulie. La chape est agencée de manière à pouvoir être accrochée au point d'appui ou supporter un poids — puissance ou résistance — suivant l'usage que l'on veut faire de la poulie.

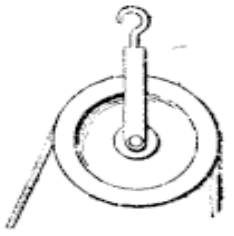


Fig. 7.

Lorsque la poulie est suspendue à sa chape, comme dans la figure 7 ci-dessus, elle ne transforme pas le travail, mais sert seulement à changer la direction de la force. Par exemple, pour extraire de l'eau d'un puits, on doit agir en sens inverse de la pesanteur, c'est-à-dire de bas en haut : le travail qu'un homme est obligé de produire de cette façon est très fatigant. Mais si l'on fait passer sur une poulie la corde qui supporte le seau, la puissance pourra agir de haut en bas, ce qui rendra l'effort beaucoup moins pénible. Ladite poulie agit alors comme un levier du premier genre à deux bras égaux (balance de Roberval) : les deux forces et le chemin qu'elles parcourent sont égaux, si, toutefois, nous considérons comme nuls

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le frottement sur l'axe et la résistance de la corde à la flexion.

Dans le cas où l'on suspend à la chape un poids, la poulie devient un levier du troisième genre si le poids est moteur, ou du deuxième genre, s'il agit comme résistance. C'est le dispositif adopté dans la plupart des appareils télégraphiques et, notamment, dans l'appareil Hughes. Ce genre de montage est appelé *moufle* (fig. 8). La longueur de course du poids étant, dans ce cas, limitée par la hauteur de la table qui supporte l'appareil, ce système offre, comme tous les leviers du troisième genre, l'avantage de faire parcourir à la résistance un chemin double de celui que franchit dans le même temps la puissance. En d'autres termes, lorsque le poids sera descendu de 50 centimètres, chacun des deux côtés A et B de la chaîne aura été allongé d'une longueur égale : on aura, par suite, un développement de chaîne égal à $2 \times 0^{m},50$, soit 1 mètre, double de la hauteur de chute du poids. Seulement, comme on « perd en force ce qu'on gagne en vitesse » (v. p. 13), le poids moteur devra, pour produire l'effet convenable sur les rouages, avoir une valeur double de celle qui serait suffisante avec une suspension directe. En effet, le poids exercera une traction égale sur les deux branches, A et B, de la chaîne et s'il a, par exemple, une valeur de 60 kilogrammes, un effort de 30 kilogrammes, sur la partie A, sera utilisé pour faire tourner la roue, tandis que la traction subie par le côté B, attaché au point fixe, ne produira aucun travail utile.

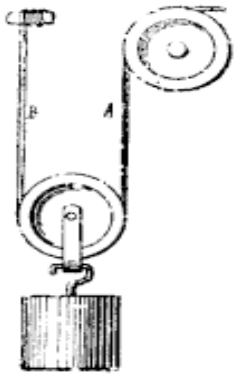


Fig. 8

Lorsqu'on remontera le poids, la poulie deviendra, nous l'avons dit, un levier du deuxième genre à deux brâs égaux : ce sera alors la puissance qui parcourra un chemin double, par rapport à la résistance.

Roues dentées. Engrenages. — Si l'on met en contact deux roues dont la périphérie est lisse, le mouve-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment reçu par l'une sera communiqué à l'autre, à cause de la différence entre le frottement de roulement et le frottement de glissement. Toutefois, si la résistance de la seconde roue était trop grande, sa rotation pourrait ne pas avoir lieu. Afin d'assurer l'entraînement dans tous les cas, on arme les roues de parties saillantes ou *dents*, laissant entre elles des espaces vides, de telle sorte que les saillies de l'une puissent entrer dans les parties creuses de l'autre : le glissement est ainsi rendu impossible.

La roue qui donne le mouvement s'appelle « roue menante » et l'autre « roue menée ».

Un système d'engrenage constitue un jeu de leviers, à l'aide duquel on transforme le travail, en faisant varier à volonté les deux facteurs (puissance et chemin parcouru) dont il est le produit.

La figure 9, ci-contre, nous montre une roue R, qui reçoit la puissance, sur l'axe de laquelle une autre roue dentée R' est disposée de façon à pouvoir engrener avec une roue plus petite, ou « pignon », P, portée par un second axe. Si la roue R' et le pignon P ont respectivement 20 et 10 dents, lorsque la première aura accompli une révolution complète, elle aura présenté au pignon P 20 dents, entre chacune desquelles ledit pignon aura intercalé l'une des siennes : ce dernier aura donc fait deux tours sur lui-même pour un seul du premier axe. Si, sur le second, une roue, R", engrène, dans le même rapport du nombre de dents, avec un autre pignon P', une révolution du premier axe correspondra à quatre pour le troisième et ainsi de suite.

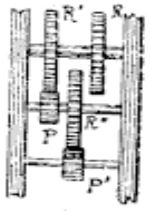


Fig 9.

Les dents des deux roues, menante et menée, occupant chacune sur la circonférence un espace égal, le nombre des dents de l'une et de l'autre est dans le même rapport que les diamètres de ces deux roues.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, un jeu d'engrenages constitue une suite de leviers agissant les uns sur les autres. Ce sont des leviers du premier genre. Dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

roues R et R', les deux bras étant égaux, le travail sera transmis dans les mêmes conditions de vitesse et de puissance. Au contraire, l'ensemble du pignon P' et de la roue R'' nous donne des bras inégaux; celui qui reçoit la puissance étant moitié moins long que l'autre, on retrouvera à la dent de R'', qui commande P' une vitesse double, avec une puissance moitié moindre, de telle sorte que, pour un travail déterminé du dernier axe, plus on voudra avoir une chute minime du poids moteur, plus celui-ci devra être lourd. On déterminera ensuite le nombre d'axes à utiliser et le rapport entre chacun d'eux.

Crémaillère. — Une crémaillère peut être considérée comme une roue d'engrenage d'un rayon infiniment grand. Elle se compose d'une barre métallique B (fig. 10), guidée de manière à permettre un mouvement de translation suivant sa longueur. Elle est munie, sur l'une de ses faces, d'échancrures dans lesquelles s'engagent les dents d'un pignon P. Quand on fait tourner ce dernier, on communique à la barre un mouvement rectiligne — et réciproquement.

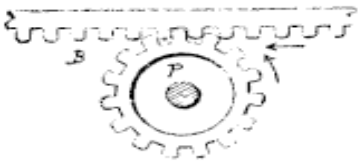
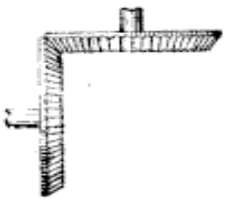


Fig. 10.

Dans le cric, par exemple, ce dispositif permet de soulever des poids considérables, en rendant très faible, grâce à un jeu d'engrenages, la vitesse du point où est appliquée la résistance, par rapport à celle de la manivelle, sur laquelle agit la puissance.

Roue d'angle. — Les roues dentées ordinaires, la crémaillère, transmettent le mouvement dans un même plan. Lorsque la roue menante et la roue menée doivent se mouvoir dans des plans différents, on emploie l'engrenage conique, ou « roue d'angle ». Chaque roue a la forme d'un tronc de cône muni de dents. Tout ce qui a été dit sur les roues dentées ordinaires s'applique évidemment à celles-ci.


Fig. 11

Rochet. — Dans la roue dentée ordinaire, les dents sont plantées droit, c'est-à-dire que l'axe de chacune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'elles constitue le prolongement d'un rayon. Dans la roue à rochet, au contraire, les dents sont inclinées sur la circonférence, comme celles d'une scie circulaire. Le rochet nécessite toujours la présence d'un « cliquet » : c'est un levier, C, porté par un axe O, parallèle à l'axe de la roue; le cliquet est sollicité, par un ressort, R, à s'appuyer sur le pourtour de la roue et, par conséquent, à tomber dans les creux de celle-ci.

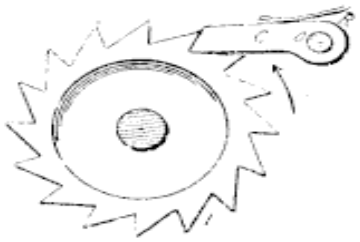


Fig. 12.

Si le support du cliquet est fixe, il permettra à la roue, montée comme celle que représente la figure 12, de tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre. Il s'opposera au retour en arrière, en calant la partie droite de la première dent qui se présentera à lui. C'est ainsi qu'il est agencé dans le cric, dont nous avons parlé plus haut.

Si le support du cliquet est mobile, il sera entraîné par la roue, lorsque celle-ci tournera dans un sens (celui des aiguilles d'une montre, dans la fig. 12) et glissera au contraire sur les dents, lorsque le rochet tournera en sens inverse.

Enfin, si le support du cliquet reçoit la puissance et est animé d'un mouvement alternatif, il poussera devant lui la dent sur laquelle il s'appuiera, transmettant ainsi son mouvement au rochet chaque fois qu'il se déplacera vers la gauche, et glissera, au contraire, sur les dents du rochet chaque fois qu'il reviendra vers la droite : il communiquera, ainsi, à ce dernier un mouvement de rotation périodique.

Isochronisme. — Lorsque nous avons parlé du levier, de la poulie, des engrenages, nous avons montré l'équilibre qui s'établit, avec des facteurs de valeurs différentes, entre le travail moteur et le travail résistant; nous avons dit que « l'on gagne en vitesse ce qu'on perd en force » et réciproquement. Mais, par cette expression « travail résistant », nous entendions seulement le travail utile, la résis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tance à vaincre, le poids à soulever, en un mot le travail en vue duquel l'appareil a été construit. Nous avons laissé de côté les résistances passives de toutes sortes, les frottements qui, dans un mouvement d'horlogerie, s'opposent au glissement des axes sur leurs paliers, les chocs, qui dépensent une force vive à déformer et à échauffer des pièces, les vibrations et les trépidations, qui se transmettent au sol et aux objets environnants, etc., etc. Tout cela constitue un travail inutile, il est vrai, nuisible même dans beaucoup de cas, qu'on s'efforce d'atténuer dans toute la mesure du possible, mais qu'on ne parvient jamais à supprimer complètement.

Nous devrons donc comprendre désormais, dans l'expression « travail résistant », non seulement le travail utile de l'appareil, mais encore tous ces travaux accessoires, dont nous venons d'énumérer quelques-uns, et qui ne peuvent s'effectuer qu'aux dépens de la force motrice dont nous disposons. Nous considérerons toujours la *somme des résistances* de l'appareil, sans nous occuper de faire aucune distinction entre celles-ci.

Mais cette extension donnée au mot « travail résistant » ne modifie en rien le principe que nous avons posé, à savoir que, pour un travail moteur donné, si la résistance vient à augmenter, la vitesse diminue, et réciproquement. Il s'ensuit que toute variation dans la somme des résistances de notre appareil aura une répercussion sur la vitesse. Si, par exemple, des organes au repos sont mis en mouvement, si des grains de poussière viennent s'interposer entre deux surfaces frottant l'une sur l'autre, la vitesse diminuera. Lorsqu'on arrêtera des pièces temporairement mises en mouvement, lorsqu'on graissera les pivots et le mécanisme, la vitesse augmentera. Les différentes causes que nous venons d'énumérer se reproduisant périodiquement, la vitesse de notre appareil sera soumise à des variations continuelles.

Or, dans beaucoup de cas — c'est celui, notamment, de l'appareil Hughes, qui nous occupe ici plus spéciale-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment — on a besoin que les mobiles soient animés d'un mouvement uniforme ou *isochrone*, en dépit des nombreuses causes qui tendent, à chaque instant, à troubler cette uniformité. Il a donc fallu imaginer des organes capables de s'opposer, d'une façon quelconque, aux variations de la vitesse : on a adjoint à l'appareil un volant, complété par un régulateur.

Volants. — Un volant est constitué par une roue présentant une masse très pesante vers la jante, et qui agit par son inertie. On la place, à cet effet, sur celui des axes de l'appareil qui tourne le plus vite. Lorsque le volant a pris une certaine vitesse, il tend à la conserver, et si une cause passagère, un choc, par exemple, est de nature à diminuer la vitesse, le volant, par sa masse, s'oppose au changement de régime, ayant emmagasiné, en quelque sorte, du mouvement, il en restitue une partie au moment où la variation tend à se produire, et, si la cause est de peu de durée, il empêche le ralentissement. De même, si la vitesse tend à augmenter, la même inertie lui fait opposer une résistance à l'accélération : il absorbe à son profit exclusif, pourrait-on dire, la force devenue disponible. Mais si la cause d'accélération ou de ralentissement, au lieu d'être simplement accidentelle et passagère, persiste assez longtemps, le volant ne fera que *graduer* le passage de l'ancienne vitesse à la nouvelle, mais sera impuissant à empêcher cette dernière de s'établir.

Régulateur. — Le volant n'agissant que comme graduateur, on n'obtiendra le mouvement uniforme qu'avec le régulateur. On classe les régulateurs en deux catégories principales suivant qu'ils agissent sur la puissance ou sur la résistance. Ils sont presque tous basés sur l'action de la force centrifuge.

Parmi ceux de la première catégorie, le plus connu est le régulateur de Watt : deux boules très pesantes tournent à l'extrémité d'un axe vertical; la force centrifuge les écarte de leur position d'équilibre et les place, pour une vitesse donnée, à une certaine distance de l'axe. Si

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la vitesse de la machine augmente, les boules s'écartent davantage, suivant l'accroissement de la force centrifuge. Si, au contraire, un ralentissement se produit, la force centrifuge diminue et les boules se rapprochent de l'axe. Les mouvements d'écartement ou de rapprochement sont transmis à un levier qui commande l'orifice d'admission de la vapeur, modère celle-ci lorsqu'il y a accélération, ouvre, au contraire, dans le cas de ralentissement.

Dans les appareils télégraphiques, la force étant fournie par un poids, les régulateurs employés agissent sur la résistance. Leur principe commun se réduit à ceci : le régulateur est agencé de manière à introduire constamment une résistance, mais cette résistance est variable : elle se modifie toujours en sens inverse des variations qui se produisent dans les résistances de l'appareil et d'une quantité égale, de manière à maintenir constante la somme totale. Le travail moteur n'étant pas susceptible de varier, si la somme totale des résistances est rendue également invariable par l'adjonction ou le retrait opérés par le régulateur, on aura le mouvement uniforme cherché.

Nous nous en tiendrons, pour le moment, à cette définition générale, que le régulateur n'est autre qu'un *frein automatique*, qui se serre lorsque la vitesse tend à augmenter, qui se desserre, au contraire, lorsqu'un ralentissement tend à se produire. Nous compléterons plus tard, en détails, lors de la description du régulateur Hughes et de quelques autres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

ÉLÉMENTS D'ÉLECTRICITÉ

Pile. — Parmi les nombreux générateurs d'électricité, le plus employé en télégraphie est la *pile*. Le principe commun à tous les systèmes de piles peut être résumé ainsi :

Si, dans un vase contenant de l'eau additionnée d'acide sulfurique, on plonge un barreau de zinc, il y a immédiatement réaction chimique : l'eau est décomposée en ses deux éléments constitutifs, hydrogène et oxygène; ce dernier s'allie au zinc, pour former de l'oxyde de zinc, qui, se combinant, à son tour, avec l'acide sulfurique, produit du sulfate de zinc. L'hydrogène reste libre.

Toute action chimique, tout mouvement de molécules déterminant toujours une production d'électricité, une *différence de potentiel* entre les corps mis en présence — dans l'espèce entre le zinc et le liquide — si, maintenant, nous plongeons dans ce dernier un barreau non susceptible d'être attaqué, mais conducteur, c'est-à-dire propre à recueillir et à conduire hors du vase l'électricité qui se trouve disponible dans le liquide, nous aurons constitué un élément de pile, dont les deux barreaux immergés seront les pôles. Le métal attaqué sera le pôle négatif, le corps non attaqué — ou moins attaqué que le premier, cuivre ou charbon, par exemple, — sera le pôle positif. La force résultant de l'action chimique qui détermine la différence de potentiel s'appellera la *force électro-motrice* de la pile.

De même que si nous mettons en présence deux corps

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ayant des températures différentes, le plus chaud cédera du calorique au plus froid, jusqu'à égalisation des températures, de même, si nous réunissons, par un corps conducteur, à l'extérieur de la pile, le pôle positif au pôle négatif, leurs potentiels tendront à s'égaliser et ledit conducteur sera parcouru par un courant électrique; mais la force électromotrice de la pile rétablissant à chaque instant la différence de potentiel entre les deux électrodes, l'égalisation ne pourra avoir lieu, aussi longtemps que durera l'action chimique (si, toutefois, nous considérons comme évité un phénomène dont nous parlerons plus loin : la polarisation).

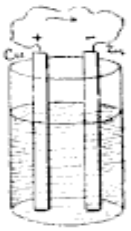


Fig. 13.

Le potentiel électrique peut donc être comparé à une pression en hydraulique, par exemple. Il y a, en effet, une grande analogie entre les phénomènes que l'on constate dans l'un et dans l'autre domaine, et, si ces sortes de comparaisons peuvent n'être pas à l'abri des critiques, elles ont, tout au moins, l'avantage de rendre plus tangibles les conditions dans lesquelles se produit et se comporte le courant électrique. Nous pourrons donc assimiler le circuit d'une pile au dispositif suivant :

Deux réservoirs, A et B (fig. 14), contenant de l'eau à des niveaux différents, sont mis en communication par l'intermédiaire d'un tuyau T; un courant d'eau s'établira aussitôt, allant du réservoir A, dans lequel le niveau est plus élevé, vers B. La colonne d'eau du premier tendra à diminuer de hauteur et celle du second à augmenter. Mais si une pompe, P, reprend à chaque instant l'eau arrivant en B pour la remonter en A, la différence de niveau sera maintenue; l'égalisation ne pouvant se faire, on aura, dans le tuyau T, un courant d'eau constant,

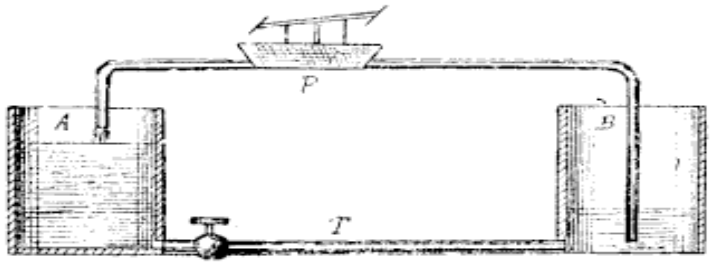


Fig. 14.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aussi longtemps que la pompe fonctionnera. Le rôle dévolu ici à la pompe est semblable à celui que joue, dans la pile, la force électromotrice.

Polarisation. — Nous avons dit plus haut que l'hydrogène, séparé de l'oxygène, avec lequel il formait de l'eau, se trouve libre lorsque l'action chimique de la pile se produit. Or, ce gaz, au lieu de se dégager dans l'air, va se déposer en petites bulles sur l'électrode positive et, par sa tendance à se combiner avec l'oxygène de l'eau, engendre une *force contre-électro-motrice*, c'est-à-dire inverse de la force électro-motrice de l'élément; en d'autres termes, ce positif tend à devenir le négatif d'un couple secondaire; la force électro-motrice disponible à l'extérieur de la pile se trouve donc diminuée de plus en plus par l'accumulation de l'hydrogène, et le courant s'affaiblit graduellement jusqu'à devenir bientôt à peu près nul : c'est ce qu'on appelle la *polarisation* de l'électrode positive.

Il a donc fallu, pour obtenir la constance du courant produit par la pile, débarrasser le pôle positif de l'hydrogène. On emploie, comme « dépolarisant », un corps riche en oxygène et susceptible de le céder assez facilement à l'hydrogène pour reformer de l'eau. Si, par exemple, au lieu de baigner la lame de cuivre directement dans l'eau acidulée ou « liquide excitateur », nous l'immergeons dans un vase poreux en terre de porcelaine, rempli d'une solution saturée de sulfate de cuivre, et plongé lui-même dans le liquide excitateur, dès que l'action chimique de ce dernier sur le zinc se produit, l'hydrogène traverse le vase poreux pour se rendre sur l'électrode positive; mais avant d'avoir atteint celle-ci, il rencontre la solution de sulfate de cuivre, en décompose une partie, pour s'emparer de son oxygène, avec lequel il se combine et forme de l'eau. Le cuivre métallique laissé libre par cette décomposition va se déposer sur la lame positive, déjà en cuivre, dont il ne fait qu'augmenter le volume, ce qui ne présente aucun inconvénient; l'acide sulfurique, également libéré, traverse le vase poreux en sens inverse et se mêle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au liquide excitateur, qu'il régénère, assurant ainsi la continuation de l'action chimique dans le compartiment zinc.

Différents systèmes de piles. — Il existe un nombre considérable de systèmes de piles; celle que nous venons de décrire sommairement peut nous servir de proto-type : c'est la pile Daniel. Elle a été agencée de façons différentes par une foule d'inventeurs.

Parmi les dérivées de la pile Daniel, nous citerons :

La pile Callaud, basée sur la différence de densité entre le sulfate de cuivre à *saturation* et la solution excitatrice de sulfate de zinc *non saturée* : les deux liquides sont superposés et le vase poreux se trouve ainsi supprimé. Le sulfate de cuivre est placé au fond du vase, le sulfate de zinc à la partie supérieure.

La pile Meidinger : une pile Callaud à laquelle on a ajouté un tube de verre ou un ballon rempli de cristaux de sulfate de cuivre, pour l'entretien à saturation du liquide dépolarisant, au fur et à mesure de sa consommation.

Les piles Minotto, Thomson, etc., etc.

Dans tous les autres systèmes que nous pourrions mentionner, nous retrouverions le principe de la pile Daniel, mais avec des substances différentes, c'est-à-dire qu'elles se composeraient :

1° D'un liquide excitateur;

2° D'un métal attaqué par celui-ci (le zinc, à de très rares exceptions près);

3° D'un corps non attaquable par l'excitateur ou, tout au moins, plus faiblement attaqué que le zinc (cuivre ou charbon, généralement);

4° D'un corps liquide ou solide, dépolarisant.

Mentionnons, pour mémoire, quelques genres qui ont été ou sont encore employés en télégraphie, et dont les quatre corps constitutifs sont, respectivement :

La pile Marié Davy : sulfate de zinc, zinc, charbon, sulfate d'oxydule de mercure:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pile Bunsen : acide sulfurique, zinc, charbon, acide azotique;

La pile Leclanché : chlorhydrate d'ammoniaque, zinc, charbon, bioxyde de manganèse;

La pile de Lalande et Chaperon : solution de potasse caustique, zinc, cuivre, oxyde de cuivre en grains.

Groupement des piles. — Lorsqu'un seul élément de pile est insuffisant pour produire l'effet qu'on se propose d'obtenir, on peut en utiliser simultanément un nombre quelconque, en employant l'un des deux groupements suivants, ou bien encore la combinaison des deux :

1° *Groupement en tension.* — Le groupement en tension consiste à réunir, par un métal conducteur, le pôle positif du premier élément au pôle négatif du second (fig. 15), le positif de celui-ci au négatif du troisième, et ainsi de suite. On constitue, de la sorte, une batterie dont le premier zinc est le pôle négatif, le dernier cuivre le pôle positif, et dont la force électro-motrice est égale à celle d'un élément multipliée par le nombre des éléments.



Fig. 15.

En effet, supposons le potentiel du premier zinc égal à zéro et admettons que la force électro-motrice de chaque élément détermine, entre le zinc et le cuivre, une différence de potentiel de 1 unité, le premier cuivre aura donc le potentiel 1; si nous réunissons ce cuivre au zinc suivant, celui-ci prendra, évidemment, ce même potentiel 1. La force électro-motrice du second élément étant la même que celle du premier, le second cuivre aura un potentiel égal à 2, qu'il communiquera au troisième, et ainsi de suite. Si nous groupons de la sorte 10, 20, 100 éléments, nous aurons, entre le premier zinc et le dernier cuivre, une différence de potentiel égale à 10, 20, 100 fois celle que nous donnerait un seul élément.

On peut comparer le groupement en tension d'une pile à la superposition d'un certain nombre de réservoirs, dont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les pressions s'ajouteraient : la colonne d'eau ainsi obtenue serait égale à la hauteur d'un des réservoirs, multipliée par le nombre de ceux-ci.

2° *Groupement en quantité.* — On groupe les éléments en quantité lorsque l'on réunit entre eux, d'une part tous les zincs, d'autre part tous les cuivres. La force électromotrice n'est pas augmentée et reste égale à celle d'un élément, mais le « débit » possible, à l'extérieur de la pile, se trouve augmenté proportionnellement au nombre d'éléments ainsi groupés. C'est le cas d'une conduite d'eau alimentée par plusieurs réservoirs de même pression ouverts simultanément : la quantité d'eau reçue par ladite conduite est égale à la somme des débits de chacun des réservoirs. Nous reviendrons sur ce sujet lorsque nous aurons défini ce que l'on entend par « résistance » et nous verrons alors dans quels cas on emploie l'un ou l'autre des groupements que nous mentionnons ici. (Voir plus loin, pages 39 et 42.)

3° *Groupement mixte.* — Le groupement mixte est la réunion des deux premiers : deux ou plusieurs batteries d'éléments en tension peuvent être, elles-mêmes, groupées en quantité : il suffit, pour cela, de réunir entre eux les pôles de même nom desdites batteries. La force électromotrice ainsi obtenue sera celle d'une batterie, mais le débit pourra être augmenté proportionnellement au nombre de batteries ainsi réunies. En d'autres termes, chaque batterie peut être considérée comme un seul élément, qu'il est toujours loisible de grouper de la façon qui convient à l'usage qu'on veut faire du courant.

Circuit électrique. — On appelle « circuit électrique » l'ensemble des corps conducteurs que traverse un courant pour se rendre d'un pôle à l'autre; le circuit est complété par la pile elle-même, à l'intérieur de laquelle le courant circule du négatif au positif, tandis que, dans la partie extérieure, le courant part du positif pour se rendre au négatif.

Un courant électrique ne pourra circuler sur un con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ducteur que si le circuit est *complètement fermé*, c'est-à-dire que si les deux pôles de la pile sont réunis sans solution de continuité.

Un circuit comprendra donc :

a) Une pile, qu'on représente généralement, quel qu'en soit le système, par une succession de traits verticaux de longueurs inégales, en ayant soin de préciser, par les signes + et —, la position de ses pôles ;

b) Un interrupteur, agencé de manière à permettre la fermeture ou la rupture du circuit ;

c) Un appareil destiné à enregistrer les émissions du courant ;

d) Un conducteur reliant l'un des pôles de la pile au pivot de l'interrupteur ; un autre réunissant la butée dudit interrupteur à l'entrée de l'appareil enregistreur ; enfin, un troisième qui complète le circuit, de la sortie de l'appareil à l'autre pôle de la pile. Dans le croquis ci-contre (fig. 16), l'interrupteur étant éloigné de sa butée, le circuit est *ouvert* ; pour le fermer, il suffit d'appuyer sur le levier : le courant circule alors en partant du pôle positif, traverse le récepteur et, de la sortie de celui-ci, regagne la pile au pôle négatif par le troisième conducteur, qu'on a, pour cette raison, appelé *fil de retour*.



Fig. 16

Emploi de la terre comme partie du circuit. — Lorsque l'appareil enregistreur se trouve très loin de la pile, comme c'est le cas en télégraphie, il y a avantage à éviter l'emploi d'un fil de retour comme celui que nous venons d'indiquer. La terre peut, en effet, remplacer ce double conducteur : il suffit, pour cela, de relier à la terre, d'une part, l'un des pôles de la pile, d'autre part, la sortie de l'appareil correspondant. Dans le croquis ci-contre (fig. 17), nous

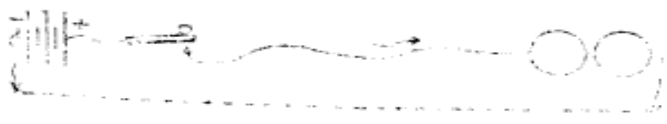


Fig. 17

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voyons que, lorsque l'interrupteur est abaissé, le courant arrive au récepteur dans les mêmes conditions que précédemment, c'est-à-dire en parcourant le conducteur dans le sens de la flèche; les choses se passent comme si, de la sortie de l'appareil, le courant se rendait à travers la terre et en suivant, par conséquent, une direction inverse de celle qu'il avait sur le conducteur, jusqu'au pôle négatif de la pile.

On peut expliquer ce phénomène de la façon suivante : le pôle négatif de la pile, étant relié à la terre, prend immédiatement le potentiel de celle-ci, que nous supposons égal à zéro; les forces électro-motrices des différents éléments de notre batterie donnent donc au dernier cuivre un potentiel plus élevé que celui de la terre; or, la sortie de l'appareil correspondant étant au potentiel zéro, comme le pôle négatif de la pile, l'abaissement de l'interrupteur aura pour effet de mettre en communication deux points ayant des potentiels différents : un courant s'établira donc partant du plus élevé et se dirigeant vers le plus faible, c'est-à-dire de A vers B.

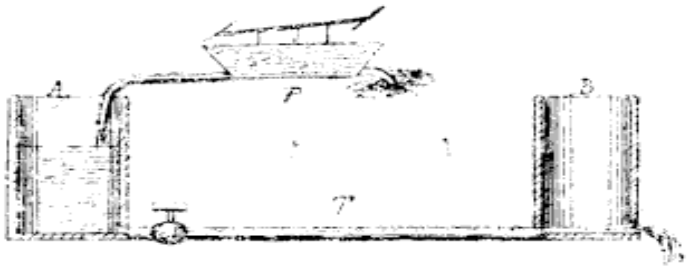


Fig. 18

Dans l'exemple hydraulique que nous avons donné (fig. 14), on pourrait de même supprimer la partie de tuyau d'aspiration comprise entre le réservoir B et la pompe P : il suffirait d'ouvrir en permanence le réservoir B (fig. 18) de manière que l'eau n'y séjourne plus et s'écoule à la terre; le tuyau d'alimentation de la pompe serait, d'autre part, amené à un puits ou à une source quelconque : la pression de A et l'écoulement d'eau qu'elle détermine continueraient à agir dans les mêmes conditions.

Courant positif, courant négatif. — L'emploi de la terre comme partie du circuit nous amène à établir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une distinction, au point de vue de la direction suivie sur le conducteur, entre le courant positif et le courant négatif.

Le courant positif est celui que reçoit la ligne lorsqu'elle est reliée au pôle positif de la pile, le pôle négatif étant mis à la terre; la figure 17 nous montre qu'il se déplace dans la direction de A vers B, c'est-à-dire du poste qui transmet vers le poste qui reçoit. — Mais nous aurions pu relier le pôle positif de la pile à la terre et mettre le pôle négatif en communication avec la ligne. Dans ce cas, le pôle positif prenant le potentiel de la terre, les forces électro-motrices des divers éléments donneraient au dernier zinc un potentiel *inférieur* à celui de la terre. Or, la sortie de l'appareil correspondant est toujours au même potentiel zéro.



Fig. 19.

Le courant partira toujours du point où le potentiel est supérieur pour se rendre vers celui où il est plus faible : il parcourra la ligne dans le sens de B vers A, c'est-à-dire du poste qui reçoit vers le poste qui transmet.

Les courants positif et négatif diffèrent donc seulement par leur direction : le premier peut être assimilé au courant produit par une pompe foulante, qui prend l'eau près d'elle pour la chasser au loin; le second, au courant d'une pompe aspirante, qui prend l'eau au loin, pour l'amener jusqu'à elle. Il s'ensuit qu'un courant positif envoyé par le poste A aura la même direction qu'un courant négatif émis par le poste B, et l'effet qu'ils seront susceptibles de produire sur un même appareil sera absolument identique : par exemple, la déviation qu'ils imprimeront à l'aiguille d'un galvanomètre placé au milieu de la ligne aura lieu dans le même sens.

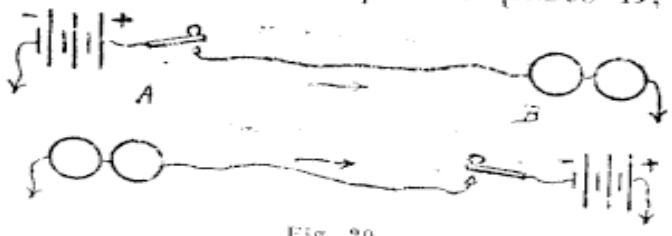


Fig. 20.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Volt. — Pour permettre les calculs et les comparaisons, on a adopté un certain nombre d'unités électriques que nous définirons à mesure que l'ordre d'idées auquel elles correspondent aura été exposé (1).

L'unité de force électro-motrice est le *volt*. C'est sensiblement la force électro-motrice d'un élément Daniel. (V. plus loin : *ampère*.) Ainsi, une batterie de 100 éléments Daniel, groupés en tension, donne, à peu près, entre le premier zinc et le dernier cuivre, une différence de potentiel égale à 100 volts. L'instrument propre à mesurer les volts s'appelle *voltmètre*.

Résistance. — On appelle *résistance* l'opposition qu'offre un corps au passage du courant : c'est donc l'inverse de la *conductance*. De même qu'il y a des corps plus ou moins bons conducteurs de la chaleur, de même il y en a qui conduisent plus ou moins facilement l'électricité; autrement dit, chaque corps a son coefficient propre, sa *résistance spécifique* ou *résistivité*, qui est l'inverse de la *conductibilité* ou *conductivité*.

Pour un corps donné, la résistance est proportionnelle à la longueur et inversement proportionnelle à la section, quelle que soit, d'ailleurs, la forme de celle-ci. C'est-à-dire qu'un fil sera d'autant plus résistant qu'il sera plus long ou plus fin. Ce dernier facteur varie par carrés, puisqu'il s'agit de la section et non du diamètre.

Ohm. — L'unité de résistance est l'*ohm* : c'est approximativement la résistance d'une colonne de mercure de $1^{m},06$ de hauteur sur 1 millimètre carré de section à la température de la glace fondante.

Intensité. Loi d'Ohm. — L'intensité d'un courant est la quantité d'électricité qui traverse une section d'un conducteur; c'est l'équivalent du « débit » en hydraulique. L'intensité est la même en tous les points du circuit; toutefois, en télégraphie, cette identité de débit

(1) L'étude du système C. G. S. (centimètre-gramme-seconde) ne pouvant entrer dans le cadre trop étroit de ce Cours, nous devons nous borner à mentionner les unités électriques *pratiques*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'est réalisée que dans les circuits locaux : sur les lignes, il y a toujours des pertes, des fuites, pourrait-on dire, qui font que l'intensité n'est pas aussi grande à l'arrivée qu'au départ.

L'intensité d'un courant dépend de la force électro-motrice qui le produit et de la résistance qu'il doit vaincre pour se propager. Si nous représentons chacun de ces trois termes par son initiale, nous énoncerons la « loi d'Ohm » sous la forme :

$$I = \frac{E}{R}$$

ce qui nous indique que l'intensité est proportionnelle à la force électro-motrice et inversement proportionnelle à la résistance *totale* du circuit.

La résistance totale d'un circuit comprend non seulement la résistance du fil, de l'appareil et de la terre, mais encore la résistance intérieure de la pile. Cette dernière dépend de la nature des liquides qui la composent, de la distance qui sépare les électrodes, c'est-à-dire de l'épaisseur de liquide que doit traverser le courant et, enfin, de la surface desdites électrodes. Si l'on veut représenter séparément les résistances *extérieure* et *intérieure*, en désignant la première par R et la seconde par r, la formule devient :

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

La résistance intérieure de la pile, lorsqu'elle est composée de plusieurs éléments, dépend aussi du groupement qui les réunit. Nous avons vu que, lorsque les éléments sont groupés en *tension*, les forces électro-motrices s'ajoutent; les résistances intérieures s'ajoutent également, car le courant qui, à l'intérieur de la pile, va du négatif au positif, doit traverser successivement tous les éléments pour se rendre du premier zinc au dernier cuivre. Par exemple, si nous groupons en tension dix éléments de même sys-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tème, nous obtiendrons une force électro-motrice 10 fois plus grande, mais la résistance intérieure, sera également multipliée par 10. Pour un nombre n, d'éléments ainsi groupés, la formule d'intensité sera :

$$I = \frac{n\,E}{R + nr}$$

Nous avons dit que la résistance intérieure est d'autant plus petite que la surface des électrodes est plus grande; or, grouper deux éléments en quantité, c'est exactement comme si l'on doublait la surface d'un seul : on diminue la résistance de moitié. De même, si l'on réunit en quantité deux ou plusieurs séries d'un même nombre d'éléments, la force électro-motrice sera celle d'un élément multipliée par le nombre que comporte chaque série (nE), et la résistance intérieure, celle d'une série divisée par le nombre de celles-ci $\left(\frac{nr}{m}\right)$. Pour m séries de n éléments chacune, on aura, sur une résistance extérieure R :

$$I = \frac{n\,E}{R + \frac{nr}{m}}$$

On emploiera l'un ou l'autre des groupements, suivant la proportion que représentera, dans le circuit *total*, la résistance intérieure de la pile. Dans les circuits de ligne, R est généralement très grand par rapport à nr, la diminution de ce dernier facteur, par l'adjonction de séries, devient négligeable.

Au contraire, lorsque la résistance de la pile représentera une fraction importante dans la résistance totale, le groupement en quantité sera avantageux.

Enfin, dans les postes où plusieurs fils de ligne puiseront simultanément dans une même pile, on emploiera le groupement mixte de séries en tension groupées elles-mêmes en quantité. Le débit maximum d'un élément —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou d'une batterie en tension — en court-circuit, c'est-à-dire sur une résistance extérieure nulle, étant limité par la résistance intérieure, on aura avantage à diminuer celle-ci afin d'avoir toujours, sur chaque fil, l'intensité qui convient.

Ampère. — L'unité d'intensité est l'*ampère*. C'est l'intensité que donne une force électro-motrice de 1 volt sur une résistance de 1 ohm. — Ou bien encore, c'est l'intensité d'un courant qui, traversant une solution d'azotate d'argent, dépose $0^{gr},001118$ de métal par seconde. D'après cette donnée nous pouvons maintenant définir le *volt* d'une façon plus exacte en disant : « c'est la force électro-motrice qui, agissant sur un circuit d'une résistance égale à 1 ohm, engendre une intensité de 1 ampère. » L'ampère étant une unité beaucoup trop grande pour la mesure des courants télégraphiques, on exprime généralement l'intensité de ceux-ci en employant un sous-multiple, le *milliampère*, qui est la millième partie de l'ampère. — L'instrument qui sert à mesurer les intensités s'appelle : *ampèremètre* ou *milliampèremètre* suivant le cas.

Déviations. — Lorsqu'on offre à un courant plusieurs chemins pour se rendre à la terre, on dit que ces chemins sont « en dérivation » : le courant se partage en raison inverse de la résistance de chacun d'eux. Si, par exemple, au point O d'un circuit, nous mettons en dérivation les deux branches A et B et si les résistances sont égales, le courant se partagera en deux parties égales, qui parcourront chacune l'une des branches. Si la branche A est quatre fois *plus* résistante que l'autre, elle recevra quatre fois *moins* de courant que la branche B.

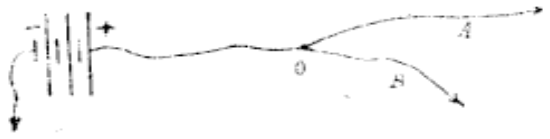


Fig. 21

La présence d'une dérivation dans un circuit déterminera une diminution de la résistance de celui-ci. En effet, si les deux branches A et B (fig. 21) sont constituées par des fils de même nature, de même longueur et de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même section, leurs résistances seront égales, mais l'adjonction de la seconde à la première sera comparable à leur remplacement par un autre fil de section *double*, toutes choses égales d'ailleurs : la résistance sera donc diminuée de moitié.

S'il s'agit, par exemple, des deux bobines de fil d'un appareil, on pourra les placer en tension (ce mot est, ici, employé par analogie avec le groupement des éléments de pile), c'est-à-dire que la sortie de la première sera reliée à l'entrée de la seconde et la sortie de celle-ci à la terre. Les deux résistances s'ajouteront : si chaque bobine a 300 ohms, le courant éprouvera une résistance de 600 (fig. 22); mais la totalité de l'intensité venue de la ligne parcourra les deux bobines. On pourra également grouper

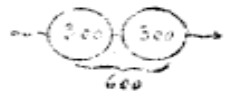


Fig. 22.

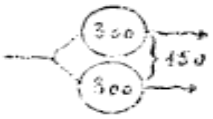


Fig. 23.

les bobines en dérivation, ou en quantité, en réunissant les deux entrées à la ligne et les deux sorties à la terre. La résistance sera alors égale à la moitié de celle d'une bobine, ou à 150 ohms, soit le *quart* de celle que donnait le groupement en tension. Seulement, chaque bobine ne recevra que *la moitié* du courant venu de la ligne (fig.23).

De même que pour les piles on adoptera l'une ou l'autre de ces dispositions suivant la proportion que représentera la résistance du récepteur par rapport à celle du circuit total. Par exemple, au bout d'une longue ligne, si l'on groupait les bobines en quantité, l'augmentation de l'intensité, qui résulterait de la diminution de résistance, ne compenserait pas la réduction du débit dans chacune des bobines, réduction due au partage du courant entre elles au point de bifurcation.

Au contraire, le groupement en quantité sera avantageux lorsque la résistance du récepteur représentera une fraction importante de la résistance totale, comme, par exemple, dans le cas d'un circuit local.

Lorsque les différents chemins n'auront pas, comme dans l'exemple ci-dessus, la même résistance

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on trouvera la résultante en appliquant la formule :

$$\frac{R\,R}{R + R}$$

elle sera égale au produit des résistances, divisé par leur somme.

Si le nombre des résistances est supérieur à deux, on combine d'abord les deux premières d'après la formule ci-dessus, puis la résultante obtenue avec la troisième résistance, et ainsi de suite.

Magnétisme : Electro-magnétisme. — Un morceau de fer ou d'acier, placé à proximité d'un aimant permanent, est attiré par celui-ci et acquiert à son tour les propriétés magnétiques. L'espace situé autour de l'aimant et dans les limites duquel l'influence est susceptible de se produire d'une façon tangible s'appelle « champ magnétique ». Lorsqu'on a placé sur un aimant une feuille de papier, si l'on saupoudre celle-ci de limaille de fer, on voit la limaille s'orienter suivant des courbes reliant un pôle à l'autre : on a alors le *spectre magnétique* de l'aimant; on suppose que ce dernier exerce son action par l'émission de « lignes de force » dont les courbes du spectre représentent les trajectoires et qui forment un circuit complètement fermé, analogue à un circuit électrique; on admet que ces lignes de force vont, à l'extérieur, du pôle nord au pôle sud, pour rejoindre le pôle nord à l'intérieur de l'aimant. C'est en se basant sur cette hypothèse que certains auteurs désignent le pôle nord sous le nom de « positif » et le pôle sud sous celui de « négatif ». La figure 24, ci-dessus, nous donne une idée de la trajectoire

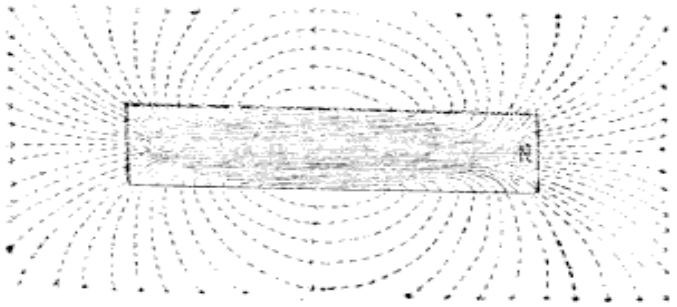


Fig. 24.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des lignes de force à l'intérieur et à l'extérieur d'un barreau aimanté : on y voit notamment que ces lignes forment une courbe fermée, qu'elles ne se coupent pas, mais s'enveloppent les unes les autres.

Lorsqu'on place deux aimants à proximité l'un de l'autre, les pôles de même nom se repoussent tandis que les pôles de noms contraires s'attirent, en raison inverse du carré de la distance qui les sépare et en raison directe du produit de leurs masses.

Un aimant léger, suspendu au bout d'un fil ou monté sur un pivot, constitue une « aiguille aimantée ou boussole », dont l'un des pôles se dirige de lui-même vers le nord de la terre et l'autre vers le sud. Deux ou plusieurs barreaux aimantés, juxtaposés par leurs pôles de même nom, constituent un « faisceau magnétique »; il importe que les différents barreaux dont la réunion forme le faisceau soient égaux en puissance; s'il en était autrement, les plus faibles seraient désaimantés et leurs polarités renversées par l'action des plus forts. Cette réaction des pôles de même nom les uns sur les autres se produit, d'ailleurs, dans tous les cas, et c'est ce qui explique pourquoi la puissance d'un faisceau magnétique est toujours inférieure à la somme de l'énergie de chacun des barreaux qui le composent pris séparément.

L'analogie entre un circuit magnétique et un circuit électrique ne se borne pas à l'hypothèse que nous mentionnons plus haut : de même que les différents corps sont plus ou moins *conducteurs* de l'électricité, on observe, en effet, qu'ils offrent aussi plus ou moins de *perméabilité* au passage du flux magnétique : si, en face des pôles d'un aimant en fer à cheval, on place un morceau de fer, ledit flux magnétique trouve un milieu plus conducteur que l'air, à travers lequel, précédemment, il se rendait du pôle nord au pôle sud; il en résulte une concentration des lignes de force qui se déforment pour emprunter ce chemin moins résistant : le spectre est modifié et l'intensité du champ magnétique se trouve accrue dans la région com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prise entre le morceau de fer et les pôles de l'aimant, cela en raison inverse de la distance; le champ est maximum quand il y a contact du fer contre les pôles, mais il est tout à l'intérieur.

Un circuit électrique parcouru par un courant développe autour de lui un champ magnétique semblable, dans ses effets, à celui qu'on observe dans le voisinage d'un aimant; les lignes de force de ce champ sont circulaires et enveloppent complètement le conducteur; celui-ci, même s'il est constitué par un métal non magnétique, attire et retient de la limaille de fer pendant tout le temps que circule le courant; placé à proximité d'une aiguille aimantée, il la fait dévier comme le ferait un aimant; enfin, deux circuits électriques réagissent l'un sur l'autre comme deux aimants (deux courants parallèles s'attirent s'ils sont de même sens et se repoussent s'ils sont de sens contraire). On peut vérifier ces phénomènes à l'aide d'un fil métallique enroulé en spirale ou solénoïde, et suspendu de manière à pouvoir pivoter facilement sous une action extérieure : en mettant en présence deux solénoïdes parcourus chacun par un courant, on peut reproduire toutes les expériences d'attraction ou de répulsion qu'on obtiendrait avec deux aimants; en substituant à l'un des solénoïdes un aimant permanent, les effets sur l'autre restent les mêmes. Il convient, toutefois, de noter que, si un solénoïde se comporte comme un aimant dans tous ses effets *extérieurs*, il n'est nullement assimilable, quant à ses effets *intérieurs*, à un aimant tubulaire : le champ magnétique, dans ce dernier cas, est de sens contraire; ainsi, à l'intérieur d'un solénoïde, une aiguille aimantée dirigera son pôle *nord* vers celui du solénoïde qui est aussi réputé pôle *nord* par ses actions extérieures, — tandis qu'à l'intérieur d'un aimant tubulaire, ce sera le pôle *sud* de l'aiguille qui se dirigera vers le pôle *nord* extérieur de l'aimant.

Quoi qu'il en soit, l'existence du champ magnétique, développé autour d'un circuit parcouru par un courant, va nous amener à parler de l'électro-aimant et nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

servira, plus tard, à expliquer les phénomènes d'induction.

Electro-aimants. — Parmi les nombreuses qualités de fer employées couramment, il en est une, le fer doux, qui jouit de cette propriété remarquable de perdre l'aimantation qu'on lui a communiquée, dès qu'il est soustrait à l'action du champ qui l'a aimanté. Il s'ensuit que, si l'on fait passer un courant dans un fil conducteur recouvert d'une enveloppe isolante et enroulé autour d'un barreau de fer doux, celui-ci, enfermé dans le champ magnétique, dont, par sa grande perméabilité, il augmente l'intensité à son profit exclusif, acquiert les propriétés magnétiques, les conserve tant que le courant circule dans le fil et les perd dès que le circuit est interrompu. C'est, de toutes les manifestations du passage d'un courant dans un conducteur, celle qui est la plus employée en télégraphie.

Le noyau de fer doux, devenant temporairement aimant, présente un pôle nord à l'une de ses extrémités et un pôle sud à l'autre. La position de ces polarités dépend de la direction du courant dans le conducteur : le pôle nord se trouve toujours à la gauche et le pôle sud à la droite du courant. Ampère a donné la règle qui sert à déterminer la droite et la gauche d'un courant, exactement comme on trouve la droite et la gauche d'une rivière : si l'on couche sur le fil une poupée, de façon que le courant arrive du côté des pieds, sorte du côté de la tête, et que la face soit tournée vers le noyau, le pôle nord développé dans celui-ci se trouvera à gauche de la poupée.



Fig. 25.

N. B. — Le pôle nord d'une aiguille aimantée est celui qui se dirige vers le nord; c'est la dénomination admise par tous ceux (marins, topographes, etc.), qui se servent de la boussole. Pourtant, certains auteurs, s'appuyant sur ce raisonnement que le pôle nord de la terre ne peut attirer qu'un pôle de nom contraire, appellent celui-ci pôle sud : d'où une confusion possible, contre laquelle il n'est pas mauvais de se mettre en garde. C'est bien le même pôle, celui qui se dirige vers le nord, qu'ils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

placent à la gauche du courant; seulement, sa dénomination est changée.

— Un électro-aimant est généralement formé de deux bobines, entourant chacune un noyau de fer doux, cylindrique dans la plupart des cas. Une culasse, également en fer doux, réunit les deux noyaux en une seule masse magnétique. Le fil est enroulé de telle sorte, que s'il développe un pôle nord à l'extrémité du noyau de gauche, il produit un pôle sud dans l'autre noyau, ou inversement. L'entrée des bobines est généralement à la gauche et la sortie à la droite de la personne qui regarde l'appareil du côté où sont placées les bornes L (ligne) et T (terre). Une pièce en fer doux, l'*armature*, est placée à proximité des extrémités des noyaux et maintenue contre une butée par un ressort antagoniste. Dès qu'un courant parcourt les bobines, l'armature est attirée, malgré l'opposition du ressort, convenablement réglé, qui la ramène au repos, dès que l'aimantation a disparu par suite de la cessation du courant.

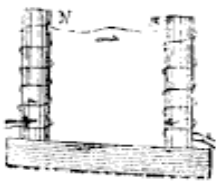


Fig. 26

On emploie quelquefois des électro-aimants à une seule bobine; on les appelle *électro-aimants boiteux*. Leur forme et leur agencement varient, suivant la destination qu'on leur a assignée.

Magnétisme rémanent. — Le magnétisme rémanent est celui qui subsiste dans les noyaux après le passage du courant; il est dû aux impuretés, qu'il est très difficile d'éviter; plus le fer est doux, moins le magnétisme rémanent se fait sentir.

En dehors de la recherche de fer aussi doux et aussi pur que possible, on s'est efforcé de combattre le magnétisme rémanent, qui est très nuisible au point de vue de la rapidité de succession des signaux. Les moyens employés dans ce but consistent surtout dans l'emploi de dispositions propres à favoriser les mouvements moléculaires que produisent l'aimantation et

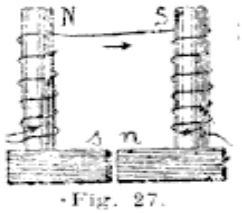


Fig. 27.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la désaimantation. On peut, par exemple, couper la culasse de manière à former deux électro-aimants droits juxtaposés, dont les pôles *n* et *s* (fig. 27), très rapprochés, réagissent l'un sur l'autre et, au moment où cesse l'action du courant, favorisent le retour à l'état neutre.

On peut aussi, sans couper la culasse, la séparer des noyaux par une feuille de clinquant et la fixer sur ceux-ci au moyen de vis en cuivre. On obtient un effet semblable.

Electro-aimants polarisés. — L'effet produit sur l'armature d'un électro-aimant ordinaire est toujours le même, quelle que soit la direction du courant qui parcourt les bobines : en effet, dans les croquis précédents (fig. 26 et 27), nous avons supposé un enroulement tel qu'un courant positif — entrant par la gauche et sortant par la droite — déterminera dans le noyau de gauche un pôle nord et dans celui de droite un pôle sud ; si nous inversons la direction du courant, soit en intervertissant l'entrée et la sortie, soit, ce qui revient au même, en faisant circuler dans les bobines un courant négatif, la direction étant inverse, les polarités développées dans les noyaux seront inverses ; on aura donc un pôle sud au noyau de gauche et un pôle nord à celui de droite. Mais l'effet produit sur l'armature *à l'état neutre* sera exactement le même : elle sera attirée aussi bien dans le second que dans le premier cas.

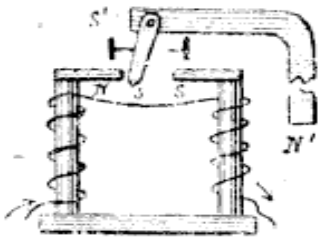


Fig. 28

Il n'en serait pas ainsi si l'armature, par exemple, était *polarisée*, c'est-à-dire soumise à l'action permanente d'un aimant N' S' : montée sur un pivot porté par le pôle sud, l'armature constitue un prolongement de ce pôle et est, par conséquent, aimantée *sud* en permanence (fig. 28). L'enroulement du fil étant le même que précédemment, un courant positif déterminera les polarités indiquées ci-dessus ; les pôles de même nom se repoussant et ceux de noms contraires s'attirant, il y aura une double

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

action concourant au même résultat : le pôle sud permanent de l'armature sera repoussé par le pôle sud temporaire du noyau de droite et attiré, au contraire, par le pôle nord du noyau de gauche : l'armature viendra, sous l'action de ces deux forces concourantes, s'appuyer sur une vis de butée placée du côté de ce dernier.

Si, ensuite, à ce courant positif on substitue un courant négatif, l'inversion de la direction amènera le renversement des polarités de chacun des noyaux. Il y aura donc, à gauche, répulsion de deux pôles de même nom; à droite, attraction de deux pôles de noms contraires : l'armature quittera la butée de gauche et viendra s'appuyer sur celle de droite.

L'armature de l'électro-aimant polarisé prendra ainsi des positions différentes, suivant que le courant qui parcourra les bobines sera positif ou négatif. Le dispositif décrit ci-dessus est sensiblement celui du *rappel par inversion du courant*, qui, lorsque les deux postes sont reliés par un seul fil à un troisième, permet à ce dernier d'appeler l'un quelconque sans déranger l'autre : dans les deux postes secondaires, l'aimant permanent est relié à une sonnerie; la pile, qui doit actionner celle-ci, communique dans l'un avec la butée de droite, dans l'autre, avec celle de gauche : un ressort, convenablement placé, appuie, à l'état de repos, l'armature contre la butée isolée. Le poste principal emploie, pour appeler, celle des deux piles qui convient au poste avec lequel il désire correspondre : l'armature de ce dernier est amenée sur la vis reliée à la pile locale et la sonnerie fonctionne; à l'autre poste, au contraire, l'armature est simplement maintenue plus fortement sur la butée isolée et aucun appel ne s'y fait entendre.

Il existe une foule de systèmes d'électro-aimants polarisés; l'aimant permanent y agit tantôt sur l'armature, tantôt sur les noyaux. Nous aurons, au cours de nos leçons, à étudier en détails les électro-aimants Hughes, d'Arlincourt, Willot et Baudot. Dans les trois derniers, tout au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins, nous retrouverons, avec des dispositifs spéciaux, le principe de celui que nous venons de décrire : un pôle permanent unique, mis en présence de deux pôles temporaires différents, est attiré par l'un et repoussé par l'autre. Le sens de ces actions, dépendant du sens du courant qui les produit, sera renversé toutes les fois qu'on inversera la direction du courant.

Induction. — Le principe de Faraday est le suivant : si l'on a un circuit à l'état neutre, c'est-à-dire dans lequel ne se trouve ni pile ni source quelconque de force électro-motrice, comprenant seulement un galvanomètre, et si l'on approche de ce circuit fermé un aimant permanent, on voit l'aiguille dévier : un courant parcourt le fil et dure tant que le déplacement de l'aimant continue ; dès qu'on arrête celui-ci, l'aiguille revient au repos. Lorsqu'on éloigne l'aimant, un nouveau courant se manifeste, mais sa direction est inverse de celle du précédent.

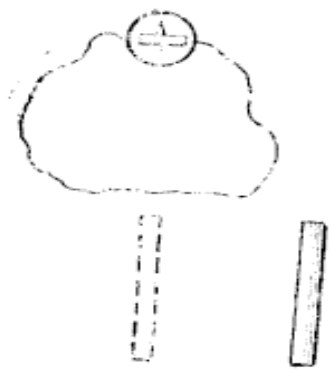


Fig. 29

D'une façon plus générale, on peut dire que, toutes les fois qu'un champ magnétique est créé à proximité d'un circuit fermé et à l'état neutre, toutes les fois que ce champ vient à varier, le circuit est parcouru par un *courant induit*, dont la direction est inversée, suivant que la variation correspond à une augmentation ou à une diminution du champ magnétique.

Le même phénomène pourra être provoqué si l'on substitue à l'aimant permanent un circuit parcouru par un courant. Ce circuit développe autour de lui un champ magnétique qui agit comme celui d'un aimant : dès que nous abaisserons le manipulateur du circuit qui renferme la pile (ou circuit primaire), un courant d'induction parcourra l'autre (ou circuit secondaire). Ce courant d'induction aura une direction inverse de celle du courant primaire et cessera aussitôt que ce dernier sera établi, car, alors, le champ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

magnétique ne variera pas. Dès qu'on relèvera le manipulateur, le courant cessant dans le circuit primaire, le champ magnétique disparaîtra ; un courant d'induction parcourra de nouveau le circuit secondaire; il aura, cette fois, la même direction que le courant primaire et sera instantané, comme le précédent.

Nous avons dit que, tant que le manipulateur reste abaissé, le circuit secondaire est à l'état neutre; si, pourtant, par l'adjonction ou le retrait de résistances, on faisait varier l'intensité du courant primaire, chacune de ces variations aurait sa répercussion dans le circuit secondaire : une diminution d'intensité produirait, comme la cessation totale, un courant d'induction de même sens que le courant primaire, et inversement.

L'intensité du courant secondaire dépend d'abord de l'intensité du courant primaire, de la résistance du second circuit, de la distance qui sépare l'un de l'autre, du degré de parallélisme, etc. : l'action est nulle lorsque les circuits sont perpendiculaires l'un à l'autre.

On voit, par là, que les transmissions effectuées sur une ligne télégraphique ont pour effet d'influencer, par induction, les lignes voisines, et que chaque émission détermine la production de deux courants instantanés dans les autres circuits. Le parallélisme des fils sur des longueurs souvent considérables, l'impossibilité de les écarter convenablement les uns des autres — la distance minimum de 50 centimètres étant insuffisante — constituent autant de conditions favorables aux influences réciproques. Et si, par divers dispositifs, on a pu atténuer, dans une certaine mesure, les effets de l'induction, il n'est guère possible d'y soustraire complètement les lignes.

Les courants d'inductions ont pour effet d'apporter, dans la propagation des courants de travail, une perturbation que nous étudierons plus loin, perturbation d'autant plus gênante que les appareils utilisés sont plus sensibles et rapides et, partant, plus délicats. C'est pourquoi, au début de la télégraphie, on ne s'en était pas préoccupé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Self-induction. — On appelle « self-induction » la réaction que produit un courant non plus dans les fils voisins, mais dans le circuit même où il se propage.

Lorsqu'un courant arrive dans un électro-aimant, les spires réagissent les unes sur les autres, le noyau de fer doux s'aimante progressivement. Si, de ces deux actions concourantes, nous ne retenons que la dernière, nous pouvons comprendre que ce noyau, passant de l'état neutre à l'état magnétique, produit sur le circuit qui l'entoure l'effet d'*un aimant qui s'approche* : un courant d'induction est donc engendré; il a une direction inverse de celle du courant principal.

Cette réaction a ainsi pour effet de s'opposer à l'établissement du régime permanent, et l'accroissement de l'intensité se fera d'autant plus lentement que le coefficient de self-induction de l'électro-aimant sera plus élevé. Ce coefficient est formé d'une foule de facteurs, parmi lesquels la qualité et la masse du fer doux, le nombre de spires de fil, jouent un rôle important. Toutes choses égales, plus le noyau sera gros et le nombre de spires considérable, plus le coefficient de self-induction sera élevé.

Lorsque le courant primaire sera interrompu, les spires s'influenceront mutuellement; le noyau, passant progressivement de l'état magnétique à l'état neutre, produira l'effet d'*un aimant qui s'éloigne* : un nouveau courant d'induction, de même sens que le courant primaire, prolongera l'action de celui-ci.

Ainsi donc, la double action produite par la self-induction, au commencement et à la fin de chaque émission, sera une cause de ralentissement dans la transmission; elle limitera la rapidité de la succession des signaux. On s'efforcera de la réduire au minimum, sans pouvoir jamais l'éviter complètement.

Dans certains cas, pourtant, la self-induction d'un électro-aimant sera utilisée pour produire un effet utile, par exemple pour accélérer la décharge d'un conducteur, après chaque émission. Tel sera le rôle des *bobines Godfroy*,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont nous parlerons lorsque nous nous occuperons des lignes souterraines.

Les phénomènes de self-induction se manifestent, non seulement dans les bobines d'électro-aimant, mais encore sur les fils de ligne; ceux-ci, se trouvant au milieu du champ magnétique qu'ils développent, sont le siège d'une force contre électro-motrice. Le coefficient de self-induction, toutes choses égales d'ailleurs, est le même pour toutes les lignes constituées en métaux non magnétiques. Pour les métaux magnétiques, il faut ajouter à ce coefficient général un terme représentant l'aimantation du conducteur lui-même.

Shunt. — Le courant de self-induction qui se produit lors de la cessation du courant primaire, *l'extra-courant de rupture*, comme on le dénomme couramment, présente, en outre de ceux que nous avons déjà signalés, le grave inconvénient de faire jaillir, entre les points où se produit la rupture, une étincelle, qui encrasse et détruit rapidement les pièces de contact. Cette étincelle nécessite un fréquent nettoyage des relais, notamment. On l'évitera en localisant l'extra-courant dans l'électro-aimant lui-même. Pour cela, il suffira de réunir l'entrée et la sortie par un *shunt*, c'est-à-dire par un fil de résistance proportionnée à celle de l'appareil, qui, relié de la sorte aux deux extrémités du fil de l'électro-aimant, formera avec celui-ci un *circuit complet*, dans lequel l'extra-courant pourra se développer, sans aller chercher, pour circuler, la mince couche d'air qui, au moment de la rupture, sépare l'armature de relais de son butoir et à travers laquelle jaillit l'étincelle.

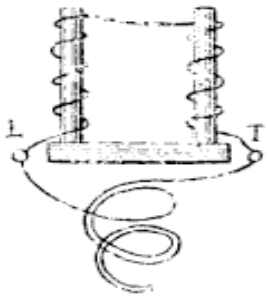


Fig. 30.

Le shunt sera généralement constitué par une bobine, sur laquelle le fil aura été enroulé *en double* (fig. 30), afin qu'il n'ait, par lui-même, aucune self-induction et que l'action d'une moitié des spires annule celle de l'autre moitié, car sans cette précaution le courant que tendrait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à engendrer le shunt agirait comme l'extra-courant développé dans l'électro-aimant et non seulement l'effet attendu ne se produirait pas, mais encore les deux actions s'ajouteraient comme celles de deux piles montées en quantités : on aggraverait donc le mal au lieu de l'atténuer.

On shunte également des électro-aimants, dans le cas où ils sont commandés par des courants brefs; on favorise ainsi la production de l'extra-courant de rupture qui, nous l'avons dit, étant de même sens que le courant principal, prolonge l'action de celui-ci.

Electricité atmosphérique. — Les fils peuvent être influencés par l'état électrique de l'atmosphère. Dans les temps d'orage, ces influences se manifestent par des décharges brusques, susceptibles d'actionner les armatures des appareils et même de brûler les paratonnerres.

Ces phénomènes peuvent s'expliquer de la même manière que le *choc en retour*. On a vu, en effet, maintes fois, qu'un homme pouvait être foudroyé sans être atteint directement par la foudre. Voici comment la chose est possible : l'homme, se trouvant à proximité d'un nuage électrisé, se charge d'électricité de nom contraire à celle du nuage, par suite de l'influence de celui-ci; la tension de cette charge dépend de la tension de celle du nuage et aussi la distance à laquelle se trouve ce dernier. Si le nuage s'éloigne, l'influence diminue progressivement, la charge accumulée sur l'homme s'écoule petit à petit à la terre, sans que son porteur puisse seulement se douter du péril auquel il échappe; mais, si le nuage en rencontre un autre, électrisé en sens contraire, les deux nuages se déchargent subitement, donnant lieu à l'éclair et au coup de tonnerre; l'influence qui retenait sur l'homme une certaine quantité d'électricité, disparaissant tout à coup, cette électricité se dissipe, à son tour, brusquement à la terre; les effets de cette décharge seront plus ou moins fâcheux, suivant le degré de tension de la charge : si celle-ci est assez élevée, l'homme pourra même être foudroyé, exactement comme s'il avait été atteint par la foudre elle-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même. Ce phénomène se produit également sur les fils télégraphiques : ceux-ci, étant à la terre par les deux bouts, se trouvent dans les mêmes conditions que l'homme pris ci-dessus comme exemple. Suivant le cas, la charge accumulée s'écoulera lentement ou brusquement à la terre, mais, dans le premier comme dans le second cas, la propagation des courants de travail en sera génée.

Les lignes souterraines elles-mêmes ne sont pas complètement à l'abri des effets de l'orage; c'est principalement lorsque le terrain qui les enveloppe est mauvais conducteur que des effets d'induction électrostatique se produisent et peuvent, dans certains cas, acquérir une intensité appréciable.

Courants telluriques. — Dans l'ordre des phénomènes telluriques, nous ne mentionnerons que pour mémoire les courants résultant de l'oxydation des plaques de terre enfouies dans un sol humide. Ces plaques constituent ainsi le pôle négatif d'un élément de pile et engendrent un courant qui va de la ligne à la plaque. L'action de ce courant est généralement très faible et devient tout à fait négligeable dès que la ligne atteint une certaine longueur, la résistance de celle-ci s'accroissant proportionnellement.

On désigne ordinairement sous le nom de « courants telluriques » des courants parcourant les fils avec une intensité qui peut quelquefois aller jusqu'à interrompre totalement la correspondance télégraphique. Les physiciens ne sont pas d'accord sur la cause initiale de la production de ces courants; on a remarqué qu'ils coïncident souvent avec les aurores boréales et les orages magnétiques, pendant lesquels les aiguilles des boussoles sont affolées et dévient dans tous les sens.

Il est à remarquer que les courants telluriques ne se produisent pas, comme les courants d'orage, dans un fil isolé à l'une de ses extrémités, ce qui a autorisé à conclure que les perturbations mentionnées plus haut, et dont la cause échappe, font varier le potentiel de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

terre, et, par les différences qui peuvent ainsi s'établir entre les deux extrémités d'un fil, donnent naissance aux courants dont il s'agit. Cette particularité a été mise à profit, entre autres circonstances, le 31 octobre 1903 : le phénomène avait acquis une telle intensité que Paris se trouva complètement isolé du reste de la France. Le stock énorme de télégrammes qui s'était accumulé put être écoulé, grâce à l'établissement de communications avec fil de retour, excluant toute terre du circuit.

M. Blavier, dans une série d'expériences sur divers conducteurs, a reconnu l'existence pour ainsi dire permanente de courants telluriques, qui changent de direction sensiblement aux mêmes heures de la journée; ses observations concordent avec celles de M. J.-S. Adams, du General-Post-Office de Londres : très faibles au moment du lever du soleil, les courants telluriques vont en augmentant d'intensité jusque vers neuf heures du matin, puis décroissent et passent par zéro aux environs de midi, changent alors de direction pour atteindre un nouveau maximum vers trois heures du soir; un troisième maximum est souvent constaté de une heure à deux heures du matin. Le régime de ces courants paraît susceptible d'être influencé par les grandes tempêtes, les variations brusques de température; il est généralement plus élevé au moment des équinoxes.

Quoi qu'il en soit, les courants telluriques rentrent dans la catégorie des phénomènes susceptibles d'entraver, quelquefois même de rendre impossible la transmission télégraphique, et, à ce titre, devaient être mentionnés ici.

Charge et décharge. — Lorsque l'on met un conducteur en communication avec une pile et si on le suppose soustrait à toutes les influences extérieures que nous venons d'énumérer, il se charge d'électricité d'une façon qui présente une certaine analogie avec ce qu'on observe en hydraulique. Nous verrons ensuite comment lesdites influences pourront intervenir pour modifier les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conditions dans lesquelles s'effectue la correspondance.

Soit, par exemple, une conduite C, dans laquelle une pompe P est susceptible de refouler de l'eau; à l'extrémité opposée de la conduite, une turbine T, destinée à enregistrer les émissions provoquées par la pompe P. Lorsqu'on actionnera cette dernière, l'eau se précipitera dans la conduite, la remplira progressivement et atteindra bientôt l'intensité de débit nécessaire à la mise en marche de la turbine T.

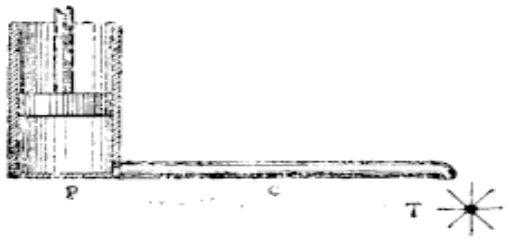


Fig. 31.

Quoi qu'il en soit, entre le moment où l'on aura actionné la pompe et celui où la turbine aura accusé le passage de l'eau, il se sera écoulé un temps plus ou moins long, dépendant de la longueur et de la grosseur de la conduite, c'est-à-dire de sa *capacité*. En outre, si la conduite n'est pas absolument étanche, si elle présente des fuites, les *pertes* retarderont l'établissement du régime normal à l'extrémité de la conduite, autrement dit, produiront le même effet qu'une augmentation de la capacité de celle-ci. Enfin, plus la turbine réceptrice sera douée d'inertie, plus elle s'opposera au passage de l'état de repos à l'état de mouvement, plus, par conséquent, le moment de la mise en marche se rapprochera de celui où le débit atteindra son maximum. Tous ces facteurs concourront donc à créer un écart entre l'émission et son enregistrement.

Lorsqu'on cessera d'appuyer sur le piston de la pompe, la conduite étant chargée, l'eau continuera à s'écouler et la turbine à tourner; et, comme l'inertie de cette dernière tend à lui conserver l'état de mouvement, un mince filet d'eau, qui aurait été impuissant à la démarrer, suffira pour entretenir la rotation.

Le mouvement de la turbine se prolongera d'autant plus longtemps que la conduite aura une capacité plus grande

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la turbine plus d'inertie. L'écart entre la cessation de l'action de la pompe et l'arrêt de la turbine sera plus grand que celui que nous avons constaté entre l'envoi de l'eau et la mise en marche. En effet, on peut admettre que la turbine s'est mise en marche avant que le débit ait atteint son maximum : la charge s'est donc continuée après l'apparition du signal, et cela, d'autant plus que l'émission, au poste transmetteur, a duré plus longtemps. Si, donc, la transmission consiste dans l'envoi des émissions d'inégale durée, une émission longue sera prolongée plus longtemps qu'une brève, à cause de la plus grande charge que la première aura fait prendre à la conduite : il y aura, par conséquent, *déformation* des signaux à l'arrivée, puisque ceux-ci n'auront pas la même durée qu'au départ.

En outre, la rapidité de la succession des signaux sera limitée par le temps pris par la décharge et l'inertie du récepteur : on ne pourra, en effet, envoyer la seconde émission que lorsque la turbine, après avoir enregistré la première, sera complètement arrêtée, sous peine de voir l'une prolonger simplement l'autre et le récepteur enregistrer un signal long, alors qu'on a transmis deux signaux brefs.

Il y aura donc un avantage de premier ordre à activer, après chaque émission, la décharge de la conduite, cette décharge présentant le double inconvénient d'amener la déformation des signaux et de limiter la rapidité de la transmission. Le moyen le plus simple consiste à ouvrir la conduite, au poste qui transmet, aussitôt après qu'on a cessé d'actionner la pompe : la décharge se fera alors par les deux bouts à la fois et sera, par suite, notablement accélérée.

Ce moyen sera suffisant dans beaucoup de cas; pourtant, si l'on voulait obtenir une rapidité plus grande encore, il suffirait de substituer instantanément, à la pompe foulante qui a produit l'émission, une pompe aspirante; la décharge, au lieu de se faire sous la seule action de la pesanteur, s'opérerait beaucoup plus vite et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

proportionnlelement à l'énergie de la pompe aspirante.

Capacité d'un conducteur. — Toutes les considérations qui précèdent s'appliquent à la transmission des signaux électriques; il n'y aurait de restrictions à faire que pour ce qui concerne la capacité : celle d'une conduite d'eau dépend uniquement de sa longueur et de son diamètre intérieur; ces deux facteurs entrent également en ligne de compte pour un conducteur électrique, mais il s'en ajoute un autre, c'est la nature du milieu isolant dans lequel est enfermé le fil. Celui-ci, en effet, constitue un véritable condensateur, dont le diélectrique est l'air pour les lignes aériennes, l'enveloppe de gutta-percha pour les fils souterrains. La charge que pourra prendre un conducteur quelconque dépendra d'abord de ses dimensions et du voltage de la pile qui servira à le charger; mais la nature du diélectrique entrera pour un facteur important dans la valeur de la charge : c'est ainsi que deux lignes de même longueur et de même nature, mais l'une aérienne et l'autre souterraine, mises en relation avec la même pile, prendront des charges très différentes : celle de la seconde sera beaucoup plus grande. Nous examinerons cette question d'un peu plus près lorsque nous nous occuperons plus spécialement des lignes souterraines.

Quoi qu'il en soit, la nécessité de décharger le conducteur après chaque émission n'en reste pas moins entière. Les deux moyens que nous avons indiqués dans notre système hydraulique trouveront leur équivalent : le premier dans la mise à la terre du conducteur, au poste de départ, après chaque émission, le second dans la substitution immédiate d'une pile négative a la pile positive qui a produit le signal ou inversement. — Dans le système Morse, par exemple, l'axe du manipulateur est en relation constante avec la ligne; lors de l'abaissement, celle-ci se trouve en communication avec

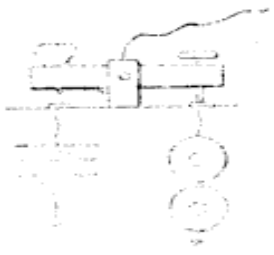


Fig. 32.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la pile et se charge; dès qu'on abandonne le manipulateur, le ressort le ramène à sa position de repos : la ligne se trouve donc immédiatement reliée à la terre, à travers les bobines du récepteur : la décharge s'opère ainsi par les deux bouts à la fois, donnant lieu, au poste de départ, au *courant de retour*, qui, sur les longues lignes, est suffisant pour déplacer l'armature du récepteur.

Dans les installations de relais, nous trouverons un dispositif analogue; enfin, nous verrons l'emploi qu'on peut faire des bobines Godfroy pour provoquer, à la fin de chaque émission, une sorte d'aspiration comparable à celle que produirait une pile négative, mais de durée plus courte.

Propagation des courants.— Dans notre système hydraulique (p. 57), nous avons vu que le retard subi par un signal s'accroîtra avec la capacité de la conduite et que ce retard sera encore augmenté par l'inertie de la turbine. Il en sera de même pour nos transmissions télégraphiques : le courant que nous envoyons sur une ligne n'arrive pas instantanément à l'autre extrémité; la résistance et la capacité entravent le mouvement; si, en outre, la ligne est mal isolée, les pertes qu'éprouvera en route le courant retarderont encore la propagation.

L'intensité, à l'arrivée, ne s'accroîtra pas régulièrement, proportionnellement au temps; si l'on observe les déviations de l'aiguille d'un galvanomètre sensible, on voit que l'intensité, d'abord très faible, pendant un temps court, augmente ensuite très rapidement, puis plus lentement, jusqu'à ce qu'elle ait atteint le maximum ou *état stable*. La courbe ci-après (fig. 33) montre ces trois périodes successives; les ordonnées (verticales)

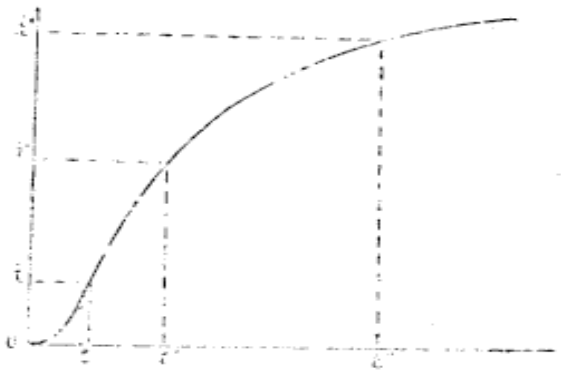


Fig. 33.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

représentent les intensités et les abcisses (horizontales) les fractions de temps. On voit que, pour passer de l'intensité *oi* à l'intensité *oi'*, il a fallu un temps égal à *tt'*; mais que l'accroissement de *oi'* à *oi''*, sensiblement égal à celui de *oi* à *oi'*, a demandé un temps *t't''*, beaucoup plus grand que *tt'*. — Mais la self-induction du récepteur qui, ici, ajoutée à l'inertie magnétique et mécanique, joue le même rôle que l'inertie de la turbine T (p. 57) va engendrer un courant inverse du courant primaire, s'opposant ainsi à l'accroissement de l'intensité de celui-ci : la courbe ci-dessus sera plus aplatie et le courant atteindra plus tard la valeur minimum nécessaire au fonctionnement du récepteur. Enfin, la self-induction du conducteur viendra s'ajouter encore à toutes ces causes de retard; mais il est bon, toutefois, de noter que, si ce dernier phénomène retarde, en effet, la propagation, il offre, par contre, cet avantage de diminuer la durée de la période variable, ce qui, ainsi que nous le verrons par la suite, est une circonstance favorable à la rapidité de la transmission.

Jusqu'à maintenant, nous avons supposé notre ligne soustraite à toute espèce d'influence extérieure : il n'en est, pour ainsi dire, jamais ainsi; l'induction, résultant des transmissions effectuées sur les conducteurs voisins, les influences de toutes sortes, provenant de l'électricité atmosphérique ou terrestre, font qu'une ligne n'est jamais à l'état neutre. Si, sur un fil dont l'extrémité opposée est reliée à la terre et sur lequel ne s'effectue aucune transmission, on place un récepteur sensible, un relais Baudot, par exemple, on le verra enregistrer, avec une rapidité extraordinaire, une foule de courants, qui ne peuvent provenir que de l'induction des fils voisins, la ligne ayant été, au préalable, reconnue exempte de mélanges; l'armature, en fonctionnant ainsi, produit un grésillement comparable à celui que les téléphonistes ont dénommé « la friture », qui est d'ailleurs d'origine semblable. — On conçoit facilement quelles perturbations ces influences inévitables

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

apporteront dans la propagation des courants de travail: une émission donnée, qui se manifesterait, au bout d'un temps déterminé, à l'extrémité de la ligne, verra sa charge accélérée ou retardée, suivant que les influences qui se produiront à ce moment seront de même sens ou de sens contraire; les déformations ainsi produites s'ajouteront à celles dont nous avons déjà fait mention; elles compromettront, notamment, la sécurité des signaux dont la différenciation est basée sur le *moment* de l'apparition, ce moment étant altéré à chaque instant et n'étant, pour ainsi dire, jamais rigoureusement le même.

En résumé, les nombreuses causes de déformations des signaux, que nous venons d'énumérer, tendront à rendre précaire leur traduction à l'arrivée, limiteront la rapidité de leur succession; la courbe que nous donnons à la page 60 sera tantôt redressée, tantôt aplatie; enfin la sensibilité possible du récepteur sera limitée au point à partir duquel il enregistrerait, à l'égal des signaux de travail, les courants parasites.

Tels sont les ennemis qu'il a fallu combattre; nous verrons par la suite et, tout au moins, dans les limites du cadre qui nous est tracé, quels moyens ont été employés pour surmonter les obstacles qu'ils apportent à l'échange des correspondances télégraphiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE

Appareil Hughes

III

PRINCIPE DE L'APPAREIL HUGHES

Différenciation des signaux. — L'envoi d'un courant sur une ligne télégraphique peut déterminer, à l'extrémité opposée, des effets calorifiques, lumineux, électrolytiques, etc.; le passage du courant peut encore être accusé par la déviation d'une aiguille de galvanomètre ou le déplacement d'une armature d'électro-aimant. Cette dernière manifestation est celle qu'on emploie le plus en télégraphie.

Or, ce déplacement d'armature constitue un signal unique, à l'aide duquel on doit pouvoir exprimer à distance les pensées les plus diverses. Examinons donc ce qu'on peut faire avec un seul signal.

Rejetant, tout d'abord, la correspondance idéographique, telle que celle qui se pratique dans la Marine avec des pavillons ou dans les casernes à l'aide de batteries de tambour et qui, si elle a l'avantage de pouvoir exprimer toute une phrase avec un seul signal, offre le grave inconvénient de limiter la communication possible à des pensées convenues d'avance, on s'est efforcé de constituer des alphabets conventionnels, en faisant varier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le signal unique dont on dispose, de manière à représenter toutes les lettres de l'alphabet ordinaire.

Les différents systèmes d'appareils télégraphiques peuvent se classer en diverses catégories, suivant la façon dont les signaux, sont, dans chacun d'eux, différenciés. Sans remonter jusqu'au temps où l'échange d'une seule correspondance nécessitait l'emploi simultané de plusieurs fils, nous pouvons citer :

Ceux dans lesquels les signaux sont différenciés par le *nombre de répétitions*. Dans les appareils à cadran, par exemple, un courant reçu de la ligne faisant avancer l'aiguille d'une division, en répétant cet envoi dix fois, ladite aiguille s'arrête sur la dixième division et l'employé réceptionnaire écrit la dixième lettre de l'alphabet; quinze répétitions indiqueront la quinzième lettre ; en un mot, en reproduisant le signal autant de fois que le comporte le numéro alphabétique d'une lettre quelconque, on pourra la désigner au correspondant.

Nous trouvons ensuite le mode de différenciation par *la durée*. En convenant de deux durées faciles à distinguer l'une de l'autre, l'une brève, qui sera le point, l'autre longue, le trait, puis en combinant de diverses façons les points et les traits, on obtient l'alphabet Morse, à l'aide duquel on peut représenter toutes les lettres, les chiffres, signes de ponctuation, etc.

Enfin, nous allons sans plus tarder, examiner celui sur lequel est basé l'appareil Hughes : c'est le mode de différenciation par le *moment de l'apparition*.

Division du temps. — Dans les romans, dans l'histoire même, les exemples abondent de signaux dont l'interprétation peut différer suivant l'heure à laquelle ils se produisent : un drapeau hissé au haut d'un mât, une fusée lancée en l'air, prennent des significations différentes, suivant qu'on les aperçoit à tel moment ou à tel autre : la couleur du drapeau est toujours la même, le temps pendant lequel on peut l'apercevoir ne change pas davantage; c'est le *moment* où il apparait qui, exclu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sivement, lui donne sa valeur. Nous possédons donc, là, un moyen de représenter, avec un signal unique, toutes les lettres de l'alphabet : il nous suffira de diviser un temps donné, une minute, par exemple, en autant de fractions que nous avons de signes à représenter et d'attendre, pour produire le signal, le *moment* qui appartient à la lettre que nous voulons transmettre. A l'origine de la télégraphie, nous avions le télégraphe à vingt-cinq fils, dont chacun appartenait exclusivement à une lettre de l'alphabet; nous sommes maintenant en présence d'un appareil à vingt-cinq moments, affectés, chacun, à la transmission exclusive d'une lettre.

La seule condition à réaliser, pour établir une correspondance avec des signaux ainsi différenciés, sera de munir chacun des deux postes correspondants d'un chronomètre parfaitement réglé; le cadran, sur lequel se marquent habituellement les secondes, portera les lettres sur sa circonférence; enfin, les deux chronomètres seront mis d'accord, en faisant partir l'aiguille de chacun d'eux en même temps, d'un même point : non seulement les deux aiguilles accompliront leur révolution dans un temps identique, mais encore elles se trouveront, à chaque instant, sur les mêmes divisions. Pour transmettre une lettre déterminée, l'employé du poste de départ, les yeux fixés sur son cadran appuiera sur son manipulateur au moment précis où l'aiguille passera sur la division convenable; celui de l'autre poste, averti de l'arrivée du signal par le bruit que fait, en s'abaissant, l'armature d'un électro-aimant, écrira la lettre que lui montrera, à ce moment, l'aiguille de son chronomètre.



Fig. 34.

Dans le cas où le mouvement des aiguilles ne serait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas mathématiquement isochrone, il se créerait, à la longue, un écart entre leurs positions respectives, écart qui, atteignant, au bout d'un certain temps, la valeur d'une division du cadran, rendrait impossible la traduction des signaux à l'arrivée. Il sera donc avantageux de remettre périodiquement les deux aiguilles d'accord. Pour cela, il suffira d'ajouter au cadran une division supplémentaire ou *blanc* et de commencer chaque période de transmission par ce signal. L'employé réceptionnaire, sachant d'avance quelle est la signification de celui-ci, pourra comparer la position de son aiguille avec celle du correspondant et, le cas échéant, rectifier l'écart qui aurait pu se produire.

Synchronisme. — La différenciation des signaux par le moment de leur apparition, entraîne, comme nécessité absolue, l'établissement d'un synchronisme, aussi rigoureux que possible, entre les organes mobiles destinés, dans chacun des postes, à diviser le temps : non seulement les deux aiguilles doivent, dans un temps donné, avoir accompli le même nombre de révolutions, exactement, mais encore, à chaque fraction de tour envisagée, elles doivent occuper, sur leurs cadrans respectifs, des positions absolument identiques.

Cette double condition sera réalisée si chaque appareil est muni d'un régulateur complété par une rectification périodique de la position de l'organe mobile de l'un des postes par rapport à celui de l'autre. Les écarts que, malgré leur perfection, les régulateurs pourraient permettre, n'atteindront jamais une valeur suffisante pour que la sécurité de la traduction puisse en être compromise. On pourra donc réaliser et conserver indéfiniment l'identité de vitesse et de position dans les deux postes. Il n'est pas indispensable que les organes que nous mettrons en synchronisme soient semblables dans les deux postes : ainsi nous faciliterons grandement la traduction à l'arrivée si, au lieu de l'aiguille, nous rendons mobile le cadran lui-même, de manière que chaque lettre apparaisse à son tour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans une petite fenêtre, pratiquée dans un couvercle, cachant tout le reste du cadran : toutes les lettres défileront ainsi devant la fenêtre et, à la condition que le mouvement du cadran soit en synchronisme avec celui de l'aiguille indicatrice, au poste de départ, la lettre qui sera visible au moment du choc de l'armature sera la même que celle que montrait l'aiguille au moment de l'envoi du courant.

Mais l'emploi de ce défilé continuel des lettres devant un point donné va pouvoir nous servir à opérer la traduction automatique du signal, supprimant ainsi les chances

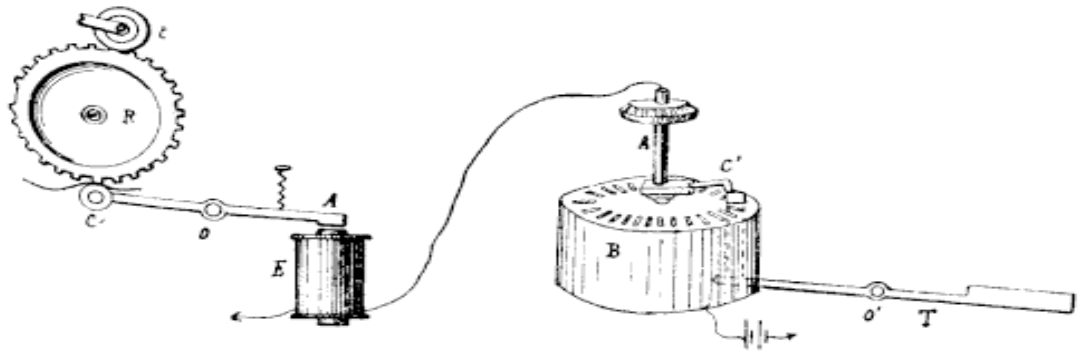


Fig. 35.

d'erreurs et permettant, par cela même, une rapidité plus grande de la transmission. Pour cela, il nous suffira d'utiliser l'armature non plus seulement pour produire un bruit avertisseur, mais bien pour presser une bande de papier contre la lettre qui, au moment où se produit le signal, est accessible, et en obtenir l'empreinte. A cet effet, nous transformerons notre cadran mobile en une roue en acier, sur le pourtour de laquelle (fig. 35) seront gravées en relief les lettres de l'alphabet et que nous appellerons la *roue des types*, R; celle-ci sera encrée à l'aide d'un tampon, *t*, en drap, imbibé lui-même et de façon convenable d'encre grasse d'imprimerie; le tampon sera monté sur un axe et pressé par un ressort, de telle sorte qu'il roulera sur la roue des types et déposera sur chaque caractère la quantité d'encre nécessaire. L'armature A, de l'électro-aimant E, sera rendue solidaire d'un levier du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

premier genre, mobile autour du point O et terminé, à son extrémité opposée à l'armature, par un petit cylindre C, ou *cylindre imprimeur*, sur lequel passera une bande de papier. On voit donc que, lorsque l'armature A, sous l'action d'un courant traversant l'électro-aimant, sera attirée, elle entraînera avec elle, le levier qui basculera autour du point O : le cylindre imprimeur C, sera soulevé et la bande de papier appliquée contre le caractère qui, à ce moment, sera au bas de la verticale passant par l'axe de la roue des types. Si celle-ci tourne en synchronisme avec l'aiguille, qui au poste de départ, commande l'envoi des courants, la lettre qui sera ainsi imprimée sera précisément celle que montrait ladite aiguille, au moment où le manipulateur a été abaissé par l'employé transmetteur.

Enfin, nous augmenterons encore notablement la rapidité et la sécurité de notre transmission en chargeant, au départ, l'appareil lui-même de discerner le moment exact où le courant doit être émis, pour qu'il produise, à l'arrivée, l'impression de la lettre qui convient. Dans ce but, le chronomètre indicateur sera incorporé dans le circuit : l'aiguille communiquera en permanence avec la ligne et le cadran avec la pile; l'une sera soigneusement isolée de l'autre, bien entendu. Le rôle de l'employé consistera à faire émerger, par un moyen quelconque, la lettre à transmettre, de telle sorte que l'aiguille, dans sa course, soit obligée de la rencontrer, sans que le frottement qui en résultera soit susceptible de modifier la régularité du mouvement; cette rencontre mettra la ligne (par l'aiguille) en communication avec la pile (par le cadran et la lettre soulevée), le courant sera envoyé au moment précis qui correspond au passage de l'aiguille sur la division envisagée.

Le cadran devra être modifié de manière à remplir le nouveau rôle qu'on attend de lui : il constituera la face supérieure d'un cylindre, B (fig. 35), contre la paroi intérieure duquel seront rangés de petits leviers en acier, ou *goujons*, placés verticalement; le cadran sera percé de fenêtres, à égale distance les unes des autres, et dans chacune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'elles pourra passer librement la tête d'un goujon; le nombre de ces derniers sera égal au nombre de lettres à transmettre, et le cylindre qui les renferme s'appelera *boîte à goujons*. A l'état de repos, chaque goujon sera tiré de haut en bas par un petit ressort à boudin, qui l'empêchera de dépasser le bord de la fenêtre et, par conséquent, de rencontrer l'aiguille ou *chariot* C', qui tourne au-dessus du cadran.

Chaque goujon sera commandé par un levier, ou *touche* T : lorsque l'opérateur appuiera sur la partie de droite de la touche, celle-ci pivotant autour du point O', son extrémité gauche se soulèvera et poussera devant elle le goujon qui lui correspond : la tête de ce dernier émergera donc de la boite et viendra se placer sur le passage de l'aiguille. L'employé maintiendra la touche abaissée jusqu'à ce que la rencontre s'opère et l'abandonnera ensuite, pour en actionner aussitôt une autre.

L'aiguille du chronomètre deviendra le *chariot* C', dont l'axe A portera à sa partie inférieure une pièce articulée, que nous pourrions appeler *chape mobile* par opposition avec celle qui la supporte, la *chape fixe*, goupillée ou soudée sur l'axe. A l'état normal, la partie inférieure de la chape mobile, ou *lèvre*, surplombe, à une petite distance, mais sans les toucher, les têtes des goujons. Si l'un de ces derniers, par suite de l'abaissement de la touche qui le commande, se trouve soulevé hors de la fenêtre, la lèvre du chariot, venant à le rencontrer, sera obligée de grimper par-dessus, en pivotant autour de sa suspension, puis retombera en continuant sa route, sans que cet obstacle placé sur son passage lui ait occasionné le moindre ralentissement. Grâce aux communications électriques indiquées plus haut, un courant aura été envoyé sur la ligne, pendant tout le temps qu'aura duré le contact entre la lèvre et le goujon.

En résumé, le chronomètre diviseur du temps est devenu, au poste d'arrivée, d'abord un cadran mobile faisant apparaître successivement chaque lettre à une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fenêtre; ce dernier a été transformé en une « roue des types »; les caractères défilent d'un mouvement continu devant la bande de papier, que l'armature de l'électro-aimant, en s'abaissant, projette contre celui qui, à ce moment, se présente à l'impression.

Au poste de départ, le cadran est devenu une « boîte à goujons » et l'aiguille un « chariot ». Celui-ci passe successivement au-dessus de chacun des goujons et, à des intervalles réguliers, sa rencontre avec ceux qui sont soulevés provoque une émission de courant sur la ligne.

Enfin, de même que deux chronomètres bien réglés, le chariot de l'un des postes et la roue des types de l'autre sont en *synchronisme* : partis en même temps d'un même point, le blanc, et animés de vitesses rigoureusement égales, ils occuperont, à chaque instant, des positions identiques, c'est-à-dire que lorsque le chariot passera au-dessus d'un goujon déterminé, la lettre qui correspond à ce goujon passera devant la bande au poste d'arrivée et, si ce goujon est soulevé, le courant qui sera alors envoyé déterminera l'impression automatique de cette lettre.

Tel est dans ses grandes lignes, le principe de l'appareil Hughes.

Vue d'ensemble et description sommaire du système Hughes. — L'appareil Hughes comprend un manipulateur et un récepteur, solidaires, l'un et l'autre, d'un même mouvement d'horlogerie. Avant d'entreprendre la description détaillée de chacun des organes qui le composent, nous allons passer une revue rapide de chacun de ceux-ci, en indiquant sommairement leurs fonctions spéciales.

Manipulateur. — Le manipulateur comprend, comme nous venons de le voir, un clavier, une boîte à goujons et un chariot.

1° *Clavier.* — Les touches qui commandent chacune un goujon, sont réunies en un clavier de 28 touches, assez semblable à celui d'un piano. Parmi ces touches, il en est une qui correspond au *blanc des lettres*, et une autre au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blanc des chiffres. Toutes deux sont destinées à transmettre les espaces blancs qui doivent, sur la bande, séparer les mots et les groupes de chiffres. Elles ne forment pas double emploi, car, grâce à un système d'*inversion*, chacune des 26 autres touches peut, suivant qu'on a, au préalable, pressé l'une ou l'autre, provoquer l'impression d'une lettre ou d'un chiffre — ou signe de ponctuation. Le nombre des signaux est donc doublé et porté à cinquante-deux ;

2° *Boîte à goujons*. — La boîte à goujons est sensiblement agencée comme celle que nous avons montrée (fig. 35, p. 67). Nous nous en tiendrons momentanément à cette description, afin d'éviter des redites ;

3° *Chariot*. — La mise en communication des goujons à la pile et du chariot à la ligne, telle que nous l'avons installée plus haut, n'irait pas sans inconvénients ; il a paru plus avantageux d'utiliser le mouvement de bascule de la lèvre mobile pour déplacer un manchon, monté à frottement doux sur l'axe du chariot ; ce manchon commande, à son tour, un *levier de transmission* en communication avec la ligne et qui n'est autre qu'un manipulateur Morse de forme spéciale : à l'état normal, il s'appuie sur une butée reliée au récepteur, lorsque la lèvre grimpe sur un goujon il bascule et la ligne met en relation avec la prise de pile.

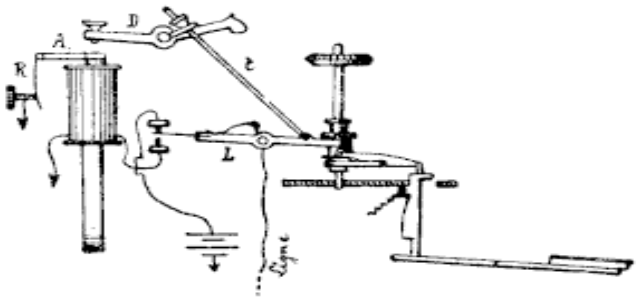


Fig. 36.

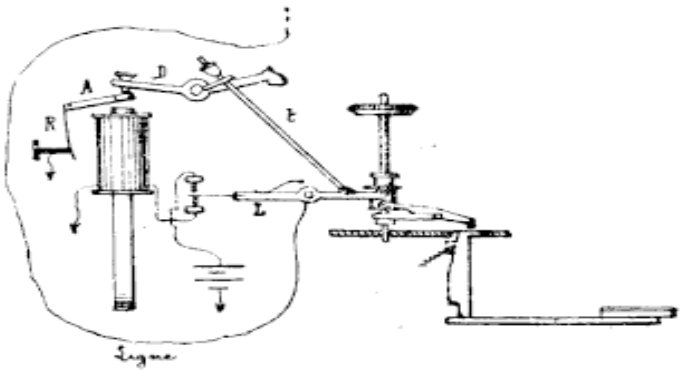


Fig. 37.

Electro-aimant. — L'électro-aimant est polarisé par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aimant permanent. L'armature A (fig. 36 et 37), collée contre les noyaux, est sollicitée à se dérober à leur action par deux ressorts; le courant est dirigé dans les bobines dans une direction telle que, s'il agissait seul, il développerait aux extrémités des noyaux des polarités inverses de celles qu'y engendre l'aimant permanent. Ces dernières sont, par cette action, suffisamment affaiblies pour que les ressorts R arrachent l'armature du contact des noyaux et la projettent brutalement contre un levier D, dit « levier de détente ».

Détente. — La « détente » D, ou échappement, a pour but de déterminer la mise en mouvement, pour une révolution seulement, d'un axe appelé *arbre de cames*, qui, comme son nom l'indique, porte une série d'excentriques; ceux-ci agissent sur les leviers qui déterminent l'impression, la progression du papier, etc.

Déclanchement automatique. — Les signaux transmis seront, au départ, imprimés sur la bande, qui donnera ainsi le contrôle de la transmission. Mais, dans ce cas, la détente n'aura pas lieu par l'intermédiaire de l'électro-aimant qui, au départ, n'est parcouru par aucun courant. Ce sera l'office du *déclanchement automatique*. Il consiste en une liaison établie entre le levier de transmission L et le levier de détente D, à l'aide d'une tige *t*; lorsqu'un goujon soulève la chape mobile du chariot, le levier de transmission L bascule, sa partie de droite, en s'abaissant, opère une traction sur la tige *t*, qui fait, à son tour, basculer le levier de détente D, dans les mêmes conditions que si ce mouvement avait lieu sous l'impulsion de l'armature soulevée.

Roue des types. — La roue des types porte, alternées, les deux séries de caractères, lettres et chiffres : elle est donc divisée en 56 parties égales; elle est solidaire d'une autre roue dentée de 28 saillies, appelée *roue correctrice*.

Roue correctrice. — La roue correctrice est placée derrière la roue des types; elles ne sont pas fixées sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur axe, mais seulement embrayées, par l'intermédiaire d'un rochet et d'un cliquet. En outre, le rochet, appelé *roue de frottement*, est monté sur l'axe à frottement assez dur. Ce dispositif permet de faire engager, à chaque impression, entre deux dents de la roue correctrice, une came appelée *came correctrice*, qui rectifie, le cas échéant, la position de la roue des types, corrigeant ainsi les écarts qui ont pu se produire entre les deux appareils correspondants.

Inversion. — La roue des types comprenant 56 divisions et la roue correctrice 28 seulement, il suffira de décaler la première de 1/56, par rapport à la seconde, pour présenter à l'impression l'une ou l'autre des deux séries de caractères. Ce sera la came correctrice qui, en s'engageant dans le creux affecté, sur la roue correctrice, soit au blanc des lettres, soit au blanc des chiffres, agira sur une *plaque d'inversion* et opérera le décalage.

Rappel au blanc. — Il importe qu'à la première émission reçue, la roue des types présente à la bande le signal qui correspond au goujon soulevé à l'autre poste (voir page 66, 1er alinéa). Il a été convenu que cette première émission serait toujours le « blanc des lettres ». Avant de commencer à recevoir, l'Agent réceptionnaire opère le *rappel au blanc* de sa roue des types; cela consiste à actionner un *levier de rappel* pour déterminer le désembrayage de la roue correctrice. La roue de frottement continue à tourner avec tout le reste de l'appareil; la roue correctrice et la roue des types, seules, sont immobilisées. Dans cette situation, le blanc des lettres sera en face de la bande. Lorsque l'armature sera soulevée par le premier courant reçu, l'arbre des cames accomplira sa révolution, la came correctrice poussera devant elle une dent de la roue correctrice; celle-ci sera, de nouveau, embrayée et, la roue des types partant du « blanc des lettres » en même temps que le chariot du correspondant, l'accord sera réalisé et maintenu ensuite par les corrections qui s'opèreront à chaque impression ultérieure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Organes du mouvement. — Le mouvement est donné à l'appareil par un poids de 60 kilogrammes, monté en *moufle*. Nous avons fait ressortir (p. 22) les avantages de ce dispositif, qui permet, en outre, de le remonter sans interrompre son action. Ce remontage peut s'opérer soit par l'intermédiaire d'une pédale agissant sous la pression du pied de l'opérateur, soit automatiquement à l'aide d'un moteur électrique, hydraulique ou à l'air comprimé.

Volant. — L'axe qui tourne le plus vite de tous ceux de l'appareil (environ 14 tours par seconde) porte un volant, qui, par son inertie, s'oppose aux variations brusques de la vitesse (v. p. 27).

Régulateur. — L'isochronisme, indispensable à la réalisation du synchronisme, est donné par un régulateur, qui agit sur l'axe du volant (v. p. 28). Ce régulateur rentre dans la catégorie de ceux que nous avons appelés « freins automatiques »; son action s'exerce donc sur la résistance.

Combinaisons. — La rapidité de la succession des signaux dépend non seulement de la vitesse de régime de l'appareil, mais surtout de l'ordre dans lequel les lettres se présentent à la transmission. En effet, l'axe du volant tourne sept fois plus vite que celui de la roue des types; l'arbre des cames, entraîné par le premier, accomplira donc sa révolution pendant que la roue des types avancera de 1/7 de tour, soit de 4 divisions. Il s'ensuit qu'entre deux émissions consécutives, on devra toujours laisser un intervalle au moins égal à 4 de ces divisions. Si, dans l'ordre alphabétique, qui est celui adopté dans l'appareil Hughes, deux lettres consécutives d'un même mot ne comportent pas cet intervalle minimum, on devra, avant de transmettre la seconde, laisser le chariot accomplir une révolution complète. C'est ainsi qu'après le blanc, la première lettre qu'il sera possible de transmettre dans le même tour est E; si le mot commence par A, B, C ou D, il faudra attendre le tour suivant, pour que la seconde émission n'arrive pas avant le retour au repos de l'ar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bre des cames, mis en mouvement par la première.

On appelle *combinaisons* les groupements de lettres susceptibles d'être transmises pendant une seule révolution du chariot.

Deux mots comportant le même nombre de lettres pourront donc exiger, pour être transmis, un nombre de tours de chariot — et, par suite, un temps — très différents, suivant les combinaisons qu'ils comporteront : ainsi, le mot *saint* demandera deux tours seulement, le blanc et l'S au premier, les quatre autres lettres et le blanc au second, soit sept émissions; le mot *morts*, au contraire, prendra autant de tours qu'il comporte de lettres : seules, la première et la dernière pourront se combiner avec le blanc.

L'un des principaux exercices de l'apprenti Hughiste sera donc de décomposer les mots en combinaisons et non en syllabes; par exemple, le mot *constant* étant à transmettre, un Agent expérimenté le verra ainsi : *co-ns-t-ant*, c'est-à-dire en autant de groupes qu'il comporte de combinaisons.

Lorsqu'on envoie un courant continu, une « roulade », dans l'électro-aimant, l'alphabet tout entier s'imprime en cinq tours de la roue des types et dans l'ordre : EJOTXBGL QVZDINSÉAFKPUYCHMR blanc des chiffres et blanc des lettres, c'est-à-dire que les signaux sont espacés de cinq en cinq divisions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

MANIPULATEUR

Clavier. — Les 28 touches qui composent le clavier sont réparties en deux séries, comme celles d'un piano : les 14 noires correspondent aux lettres de A à N; les blanches au reste de l'alphabet, plus les deux blancs, le « blanc des lettres » et le « blanc des chiffres ».

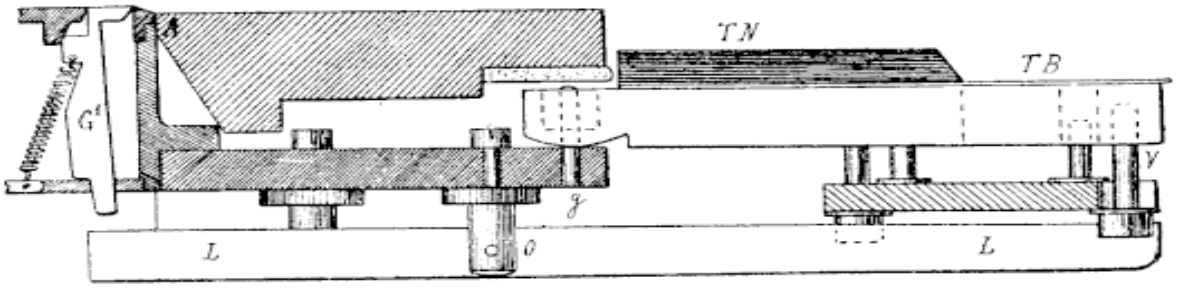


Fig. 38. — Touche du manipulateur.

Chaque touche, TB (fig. 38), est montée sur une tringle métallique *g*, qui lui sert de point d'appui et de pivot, portée elle-même par une plaque de fonte ou bâti B, — à la partie antérieure de la touche, une autre goupille s'engageant dans un trou pratiqué à cet effet dans le bois, sert à guider le mouvement et à empêcher le ballottement latéral, tout en laissant à la touche la liberté nécessaire. En avant de la goupille et également sous la face inférieure une vis V est fixée dans l'épaisseur du bois; la tête de cette vis est entaillée d'une fente dans laquelle s'engage l'extrémité d'un levier LL', constitué par une lame de fer mobile autour d'un axe O. Ledit axe est fixé sur le bâti en fonte; le levier LL' se trouve donc solidaire de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

touche, dont il suivra tous les mouvements d'abaissement et de relèvement.

A l'état de repos, l'extrémité de gauche du levier LL' se trouve à une petite distance du pied du goujon qu'il est appelé à commander; dès qu'on abaissera la touche TB, la partie antérieure du levier suivra le mouvement, autour de son axe O pour centre : le bras posté-

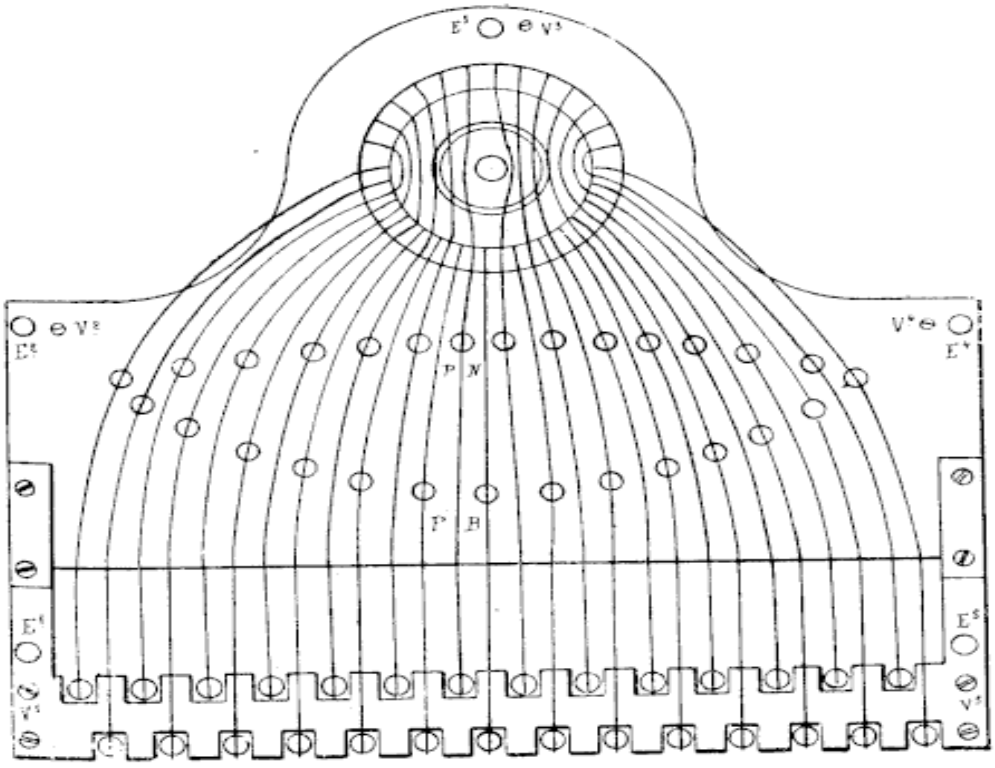


Fig. 39. — Clavier en dessous.

rieur se soulèvera et poussera devant lui le goujon en acier G', la tête du goujon émergera de la boîte.

Lorsqu'on cessera de presser sur la touche, le ressort antagoniste du goujon ramenant celui-ci à la position de repos, la touche se relèvera également.

La figure 39 nous montre le clavier en-dessous : la plaque de fonte se termine, à la partie postérieure, en queue demi-circulaire, entaillée d'un trou rond, dans lequel se place la boîte à goujons; deux rangées de pivots suppor-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tent les leviers commandés par les touches : celle d'arrière, PN, correspond aux leviers des touches noires, celle d'avant, PB, à ceux des touches blanches. Chaque levier a une courbe spéciale, qui lui permet d'atteindre le goujon qui doit lui correspondre sans frôler aucun autre levier. A cet effet encore, la partie inférieure de la boîte à goujons est entaillée de fentes verticales, dans chacune desquelles est engagé un de ces leviers, ce qui interdit tout déplacement latéral et présente l'extrémité normalement au goujon qu'elle doit commander (fig. 40).



Fig. 40.

A la partie inférieure (fig. 39), nous voyons une réglette, fixée par deux bras à la plaque de fonte et de même métal que celle-ci. Cette réglette est crénelée de deux rangées d'ouvertures rectangulaires, destinées à laisser passer librement les vis, à tête carrée, fixées sous chaque touche et qui communiquent le mouvement de celles-ci aux leviers. La rangée d'avant correspond aux touches blanches, l'autre aux touches noires.

Le bâti en fonte, portant le clavier, les leviers et la boîte à goujons, est fixé sous la table à l'aide de cinq écrous à oreilles, dont les tiges passent dans les trous lisses E, et taraudent dans les plaques en laiton encastrées dans l'épaisseur de la table. A côté de chacun de ces écrous se trouve une vis V, qui, elle, taraude dans le bâti en fonte et, lorsqu'on l'enfonce, vient buter contre la plaque en laiton dans laquelle se visse l'écrou à oreilles. L'enfoncement de la vis règle donc celui de l'écrou et, lorsqu'on serre ce dernier, la vis se trouve bloquée également. Ce dispositif permet de régler minutieusement la position de la boîte à goujons par rapport au chariot : il importe, en effet, que celui-ci puisse rencontrer, dans les mêmes conditions, tous les goujons, ce qui n'aura lieu que si la face supérieure de la boîte est dans un plan parallèle au champ de rotation du chariot.

Boîte à goujons. — La boîte à goujons est cylin-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

drique, entaillée, à sa partie inférieure, de fentes (fig. 40), dans lesquelles passent les leviers des touches; un épaulement permet de la fixer, au moyen de trois vis, sur le bâti en fonte PF du clavier (fig 43). La face supérieure de la boîte est percée de 28 fenêtres rectangulaires, pratiquées à une distance rigoureusement égale les unes des autres et par lesquelles émergeront les têtes des goujons lorsqu'ils viendront se placer sur le passage du chariot (fig. 41). Ce couvercle est fixé par trois vis sur le cylindre qui constitue la boîte. La face interne de ce couvercle, entre le centre et les fenêtres et tout près de celles-ci, présente une couronne circulaire dont la partie opposée au centre est taillée en tronc de cône *n*, tandis que celle qui regarde le centre est verticale (fig 43). Cette couronne conique servira, comme nous allons le voir, à guider le mouvement de bas en haut des goujons. La partie centrale du couvercle est entaillée d'une ouverture circulaire, dans laquelle s'engage l'extrémité supérieure d'un cylindre creux en laiton, fermé à sa partie inférieure, fixé sous le couvercle par un épaulement et au moyen de trois vis. Ce tube est destiné à recevoir une crapaudine C, montée sur un ressort à boudin *r*, et qui doit servir de pivot inférieur au chariot.

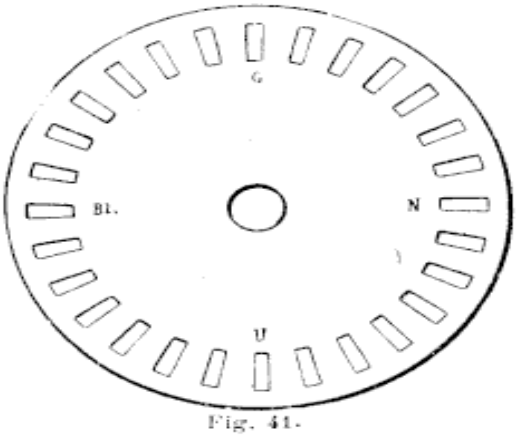


Fig. 41.
Couvercle de la boîte à goujons.

La boîte à goujons est fermée partiellement à la base, par une couronne en laiton, évidée à sa partie centrale, fixée à la paroi latérale à l'aide de trois vis, légèrement au-dessus des fentes verticales par lesquelles passent les leviers des touches. Cette couronne est, comme le couvercle, percée de 28 ouvertures, dans lesquelles se placent les extrémités inférieures des goujons (fig. 42). Très près du bord central sont pratiqués des trous destinés à recevoir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'œilleton inférieur des ressorts antagonistes de ceux-ci. Tout à fait au centre, on voit le cylindre creux *c*, dont il a été question plus haut.

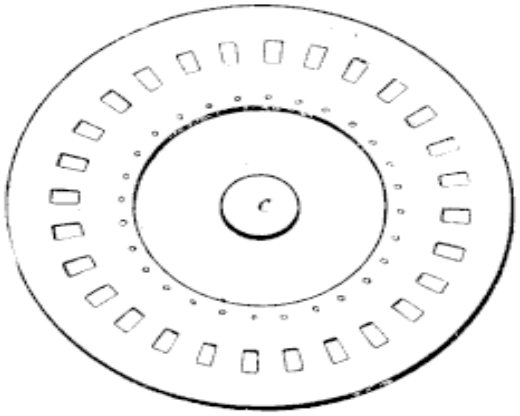


Fig. 42.
Fond de la boîte à goujons.

Les goujons sont constitués par des leviers en acier, de forme particulière, rangés autour de la paroi intérieure de la boîte. La figure 43 en représente deux, G^1, G^2, diamétralement opposés. A l'état de repos, le pied de chaque goujon est engagé dans une des ouvertures de la couronne inférieure et maintenu par un ressort à boudin en laiton R, qui l'oblige à s'appuyer, par un épaulement B, sur ladite couronne inférieure. Dans cette situation, le pied du goujon se trouve à une petite distance de l'extrémité du levier, LB ou LN, qui doit le commander. Sa tête obstrue la fenêtre du couvercle supérieur, mais sans en sortir.

Si, par suite de l'abaissement d'une touche, un levier vient à être soulevé, il pousse devant lui le pied du goujon qui lui correspond; le goujon, dont la partie supérieure, à l'état de repos, est légèrement penchée vers le centre, va, en s'élevant, se redresser vers la verticale, car son épaulement supérieur va rencontrer la partie conique de la couronne en laiton *n;* l'épaulement glissera comme sur un plan incliné, grâce, d'ailleurs, à la taille en biseau de la tête du goujon, qui, au fur et à mesure qu'elle s'élèvera, se portera de plus en plus vers l'extérieur de la courbe sur laquelle sont tracées les fenêtres. Le mouvement ascensionnel sera terminé lorsque l'épaulement rencontrera la partie horizontale sur laquelle est suspendue la couronne conique, *n*. L'opérateur continuant à tenir la touche abaissée, c'est dans cette situation que le goujon attendra le passage du chariot : sa tête sera à une petite distance du plan du couvercle, tandis que la verticale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

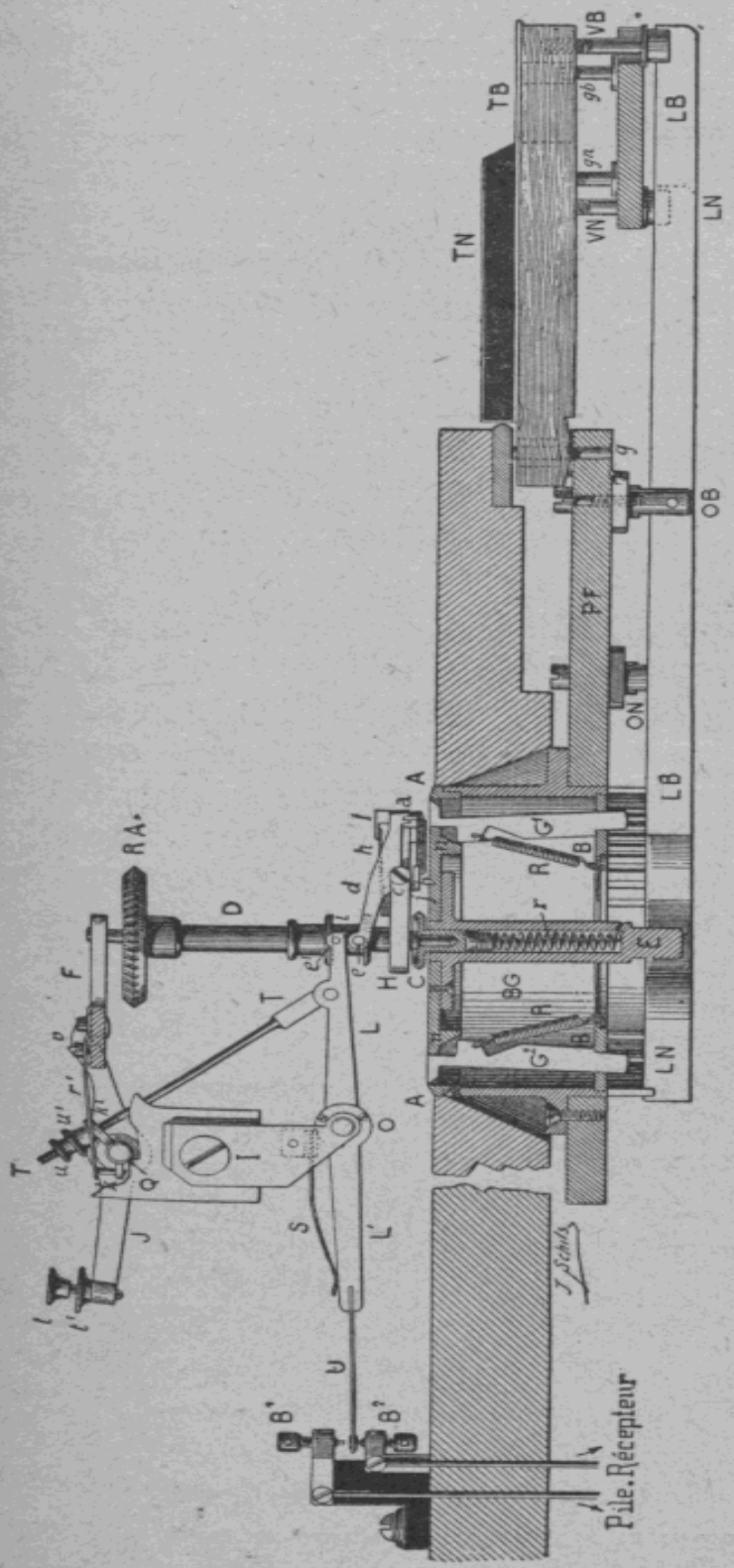


Fig. 43. — Coupe du manipulateur.

passant par l'extrémité supérieure du biseau tombera en dehors dela fenêtre, à l'extérieur de la courbe.

Chariot.. — L'axe du chariot D est placé verticalement; il s'engage, à sa partie supérieure, dans une petite ouverture pratiquée sur une potence F en laiton et qui lui sert de pivot. La potence ou *pont* est fixée au moyen d'une vis à la paroi intérieure de laplatine d'avant de l'appareil, et repérée au moyen de pieds en acier.

L'axe du chariot reçoit le mouvement de celui de la roue des types (placé horizontalement) par l'intermédiaire de deux roues d'angle, montées l'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RA sur le premier axe, l'autre sur le second; ces deux roues, de même diamètre, ont, conséquemment, le même nombre de dents, de telle sorte que le chariot aura exactement la même vitesse angulaire que la roue des types.

A sa partie inférieure, l'axe du chariot, terminé par un bout légèrement conique, s'engage dans le petit godet en laiton ou *crapaudine* C, dont nous avons parlé plus haut (fig. 43). Sous l'action de son ressort *r*, qui s'appuie sur le fond du cylindre creux dans lequel il est enfermé, la crapaudine tend à se soulever. Ce dispositif a pour but d'assurer toujours une bonne prise des dents des deux roues d'angles, tout en permettant une certaine marge dans le réglage de la hauteur et de la position de la boîte à goujons.

Le chariot proprement dit est situé à la partie inférieure de l'axe. Il comprend deux parties distinctes : la « chape fixe » C (fig. 44 et 45) goupillée sur l'axe A, et comprenant trois branches B, B'', B'; à la partie opposée à ces branches, une petite échancrure demi-circulaire, E, permet d'introduire l'huile dans la crapaudine; la « chape mobile », montée sur la précédente, est susceptible de pivoter entre deux vis, V et V', traversant les branches latérales de la chape fixe.

La chape mobile se compose de deux branches en

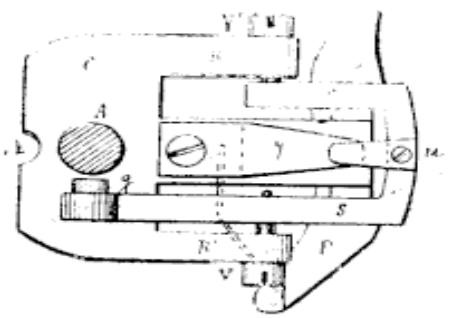


Fig. 44. Dessus.

Chariot

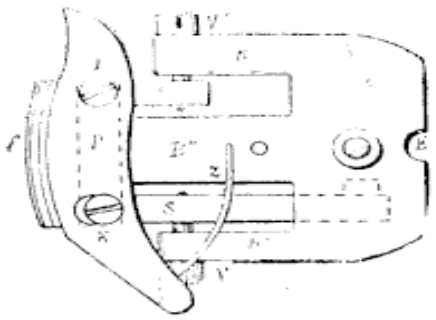


Fig. 45. Dessous.

laiton, S et S', réunies, à leur extrémité opposée aux vis pivots, par une partie, également en laiton, courbée con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

centriquement à l'axe. Au point milieu, *u* (fig. 44), de cette partie courbée, est fixé, à l'aide d'une vis, un petit doigt, sous lequel s'engage l'extrémité d'un ressort lame, *y*; ce ressort fixé lui-même par une vis sur la branche du milieu B'', de la chape fixe, tend à soulever le doigt en laiton, et, avec lui, la chape mobile.

Sous la partie courbe de la chape mobile, est encastrée une pièce en acier *l* (fig. 43 et 45) appelée *lèvre du chariot*, courbée également concentriquement à l'axe. C'est par cette pièce que se fera la rencontre du chariot et du goujon soulevé. Pour faciliter cette rencontre, la partie de gauche (fig. 46), qui se trouve à l'avant, est taillée en biseau; l'extrémité opposée est arrondie, nous verrons pourquoi lorsque nous parlerons du déclanchement automatique.



Fig. 46. — Lèvre.

Sous la chape fixe et derrière la lèvre est placée une autre pièce en acier, appelée *patin* ou *plaque de sûreté* P, destinée à maintenir la tête du goujon, lors de sa rencontre avec la lèvre du chariot. Elle comprend trois parties, au point de vue de la forme, du côté opposé au centre : la première, à l'avant, est rectiligne, on l'appelle la « partie prenante »; les deux autres, dont le nom indique suffisamment la courbure, sont : la « partie concentrique » et la « partie excentrique ». Afin de rendre moins brutale la rencontre de la partie prenante et du goujon, la plaque de sûreté, montée sur la chape fixe par deux vis, J et K, peut pivoter légèrement autour de la première comme centre, grâce à l'allongement du trou dans lequel passe la seconde; un ressort *z*, en acier assez épais et encastré dans une fente pratiquée sur la branche B'' de la chape fixe, appuie sur un évidement de l'extrémité de la plaque, et tend à rejeter celle-ci aussi loin que le permet l'allongement du trou K; il se produira, néanmoins, un léger recul au moment où la partie prenante rencontrera le goujon, mais cette disposition en levier du deuxième genre et l'énergie du ressort *z* font que la plaque de sûreté aura repris

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la position primitive au moment où le goujon sera atteint par la lèvre du chariot. Nous examinerons plus loin, en détail, le rôle de la plaque de sûreté.

La branche S de la chape mobile se prolonge au delà de la vis pivot, V, en un second bras de levier terminé par une goupille en acier g; sous l'action du petit ressort y, qui soulève le côté où se trouve la lèvre, le bras postérieur tend à appuyer sa goupille sur le rebord inférieur du manchon i (fig. 43), monté à frottement très doux sur l'axe du chariot. Ce manchon suivra tous les mouvements de bascule de la chape mobile; il ne tourne donc pas avec l'axe; au-dessus du rebord supérieur, il est prolongé par une sorte de collerette terminée par un rebord évasé; cette disposition a pour but d'éviter le coincement que pourrait produire sur l'axe un manchon trop court; le rebord évasé c (fig. 47) permet l'introduction d'huile entre le manchon m et l'axe A; celle-ci est retenue dans une entaille ou « portée », pratiquée en e, sur l'axe : l huile s'y accumule au lieu de sortir immédiatement par la partie inférieure du manchon.

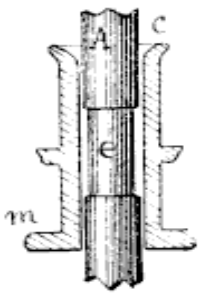


Fig. 47.

Le rebord i du manchon (fig. 43) est soutenu par une goupille e^1 fixée à l'extrémité de droite d'un levier LL', appelé *levier de transmission*, mobile autour d'un axe situé en O, et maintenu dans la position de repos par un ressort, S, qui s'appuie sur la face supérieure de sa branche de gauche L', celle-ci est prolongée par une lame flexible en acier, U, garnie à son extrémité et sur ses deux faces d'une goutte d'argent destinée à assurer, par ces points, une bonne communication électrique. Ce levier constitue, en réalité, le manipulateur proprement dit : tous les organes que nous venons de décrire n'ont d'autre but que de le rendre automatique. Comme tous les manipulateurs, celui de Morse, par exemple, son axe est en communication avec la ligne; à l'état de repos, il s'appuie sur une vis B^2, reliée à l'électro-aimant récepteur; lorsqu'il est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

actionné, il quitte cette vis pour venir prendre contact avec une autre, B^1, en relation avec la pile. Les deux vis B^1 et B^2, ont leur extrémité garnie d'argent, comme le levier, et sont montées chacune sur une petite plaque en laiton; chaque plaque porte, en outre, une seconde vis, sous la tête de laquelle est serré le fil de communication; enfin,les deux plaques en laiton sont isolées l'une de l'autre par la petite équerre en ébonite sur laquelle elles sont montées, et qui est, elle-même, fixée sur la table.

Fonctionnement du manipulateur. — Lorsqu'une touche s'abaisse sous la pression du doigt de l'opérateur, la vis VB (fig. 43) transmet le mouvement au levier LB, qui pivote autour du point OB; la branche d'avant s'abaissant, l'autre se relève et pousse devant elle le pied du goujon G^1; l'épaulement de celui-ci rencontre la partie conique *n* du couvercle de la boîte et sa tête sort de la fenêtre en s'éloignant du centre de rotation; il attend, dans une position sensiblement verticale, l'arrivée du chariot. Bientôt, l'extrémité de la partie prenante de la plaque de sûreté se glisse derrière sa tête, la partie concentrique l'emprisonne et l'empêche de se dérober à la rencontre de la lèvre; celle-ci, grâce à la taille en plan incliné de son extrémité d'avant et aussi léger arrondi de la tête du goujon, la lèvre, disons-nous, grimpe, pour continuer sa route, sur l'obstacle que lui oppose le goujon : la chape mobile bascule, le bras qui porte la lèvre s'élève avec celle-ci l'autre bras s'abaisse et la goupille *e* entraîne avec elle le manchon *i*, enfilé sur l'axe D du chariot; le manchon, à son tour, oblige la goupille e^1 du levier de transmission à suivre son mouvement, la branche L s'abaisse donc pendant que l'autre se soulève; l'extrémité U, quittant la vis inférieure B^2, vient s'appuyer sur la vis supérieure B^1 : un courant de la pile reliée à cette dernière sera donc envoyé sur la ligne tant que la lèvre restera en prise avec le goujon soulevé.

Lorsque toute la longueur de la lèvre aura franchi la tête du goujon, le ressort S ramènera la lame U au con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tact de la vis B^2; la branche L, en se relevant, entrainera avec elle le manchon *i*, qui, à son tour, ramènera la chape mobile du chariot à sa position primitive : la lèvre se trouvera à une petite distance du couvercle de la boîte, c'est-à-dire des têtes de goujons au repos. Pendant ce temps, la partie excentrique de la plaque de sûreté, appelée aussi *chasse-goujon*, pousse le goujon en dehors du champ de rotation de la lèvre, permettant ainsi un enfoncement complémentaire de la touche, mouvement qui avertit l'opérateur du moment où, l'émission étant terminée, il doit laisser la touche se relever : dès que cesse la pression du doigt de celui-ci, le goujon, sous l'action de son ressort à boudin, rentre dans la boîte et la touche, par l'intermédiaire de son levier, revient à la position de repos.

Rôle du patin ou plaque de sûreté. — La plaque de sûreté joue un rôle très important dans l'émission de courant provoquée par la rencontre de la lèvre et d'un goujon : elle assure cette rencontre dans des conditions toujours identiques et pare aux défauts de manipulation de l'employé, défauts qui auraient pour effet d'altérer les signaux à l'arrivée.

Un Agent insuffisamment exercé peut avoir l'un des trois défauts suivants, il peut :

a) Appuyer trop tard, alors que la lèvre a déjà dépassé d'une certaine quantité la fenêtre du goujon.

b) Relever la touche trop tôt, c'est-à-dire alors que la lèvre n'a pas entièrement franchi la tête du goujon.

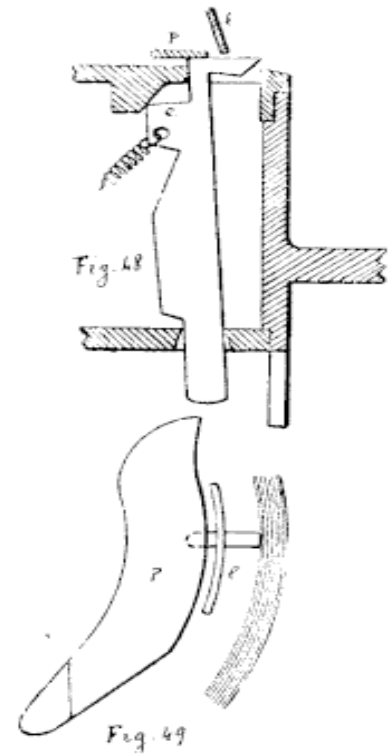
c) Relever trop tard et permettre à la lèvre, au tour suivant, de rencontrer une seconde fois le goujon.

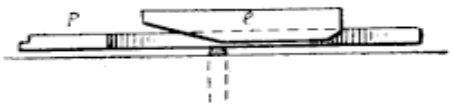
La plaque de sûreté pare aux inconvénients qui résulteraient de ces défauts de manipulation.

1er cas : *La touche est abaissée trop tard*. — Il importe que le goujon soit soulevé avant l'arrivée de la lèvre, afin que la rencontre ait toujours lieu à un *moment* précis. Or, s'il était possible que le goujon, actionné trop tardivement, pût soulever la lèvre alors que celle-ci a déjà dépassé la fenêtre, le *moment* de l'émission serait changé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le courant émis raccourci proportionnellement au retard. Dans ces conditions, si le courant, ainsi écourté, était encore capable d'actionner l'armature du correspondant, le déplacement se produirait *trop tard ;* il y aurait des chances pour que la lettre suivante fût imprimée et, dans tous les cas, pour qu'une correction rompît l'accord entre les deux appareils et occasionnât un « déraillement ». Ou bien encore le courant, trop court, serait impuissant à opérer le déplacement de l'armature du récepteur et l'émission ne serait pas enregistrée. Dans un cas comme dans l'autre, la correspondance serait tronquée : il est donc préférable que, si l'envoi du courant ne peut être fait au moment voulu, il n'ait pas lieu du tout.




Fig. 50.

La plaque de sûreté empêche ce défaut de se manifester : elle obstrue, en effet, les fenêtres au-dessus desquelles se trouve la lèvre (et même, par sa partie prenante, les deux placées immédiatement avant); si, donc, l'opérateur n'appuie pas assez tôt sur la touche (fig. 48), la tête du goujon viendra buter contre la plaque de sûreté : la touche ne pourra s'enfoncer et l'employé sera averti qu'il doit attendre au tour suivant pour provoquer l'émission, qu'il a préparée trop tardivement.

La figure 49 représente, vus de dessus, la plaque de sûreté, la lèvre du chariot et le goujon soulevé trop tard, la figure 50, les mêmes, vus de l'extérieur de la courbe. Le sens de la rotation du chariot est celui des aiguilles d'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montre. Ces indications s'appliquent également aux figures qui suivent.

2e cas : *La touche est abandonnée trop tôt.* — Si l'abandon trop hâtif de la touche pouvait permettre au goujon de rentrer dans la boîte, la lèvre retomberait aussitôt, de même que le levier : l'émission serait écourtée; suivant le moment où aurait lieu ce retour anormal du levier à la position de repos, le courant reçu par le correspondant pourrait être insuffisant pour que le signal fût enregistré. Ce défaut ne se produira pas, grâce à la plaque de sûreté. Nous avons dit, en effet (p. 85), que la partie concentrique de celle ci « emprisonne la tête du goujon et l'empêche de se dérober à la rencontre de la lèvre ». Les figures 51 et 52 nous montrent le goujon en prise avec la lèvre, *l*, tandis que la partie concentrique, P, le cale par derrière; l'opérateur continuant à presser sur la touche, l'épaulement *e* du goujon s'appuie sur le rebord inférieur de la fenêtre (fig. 51).

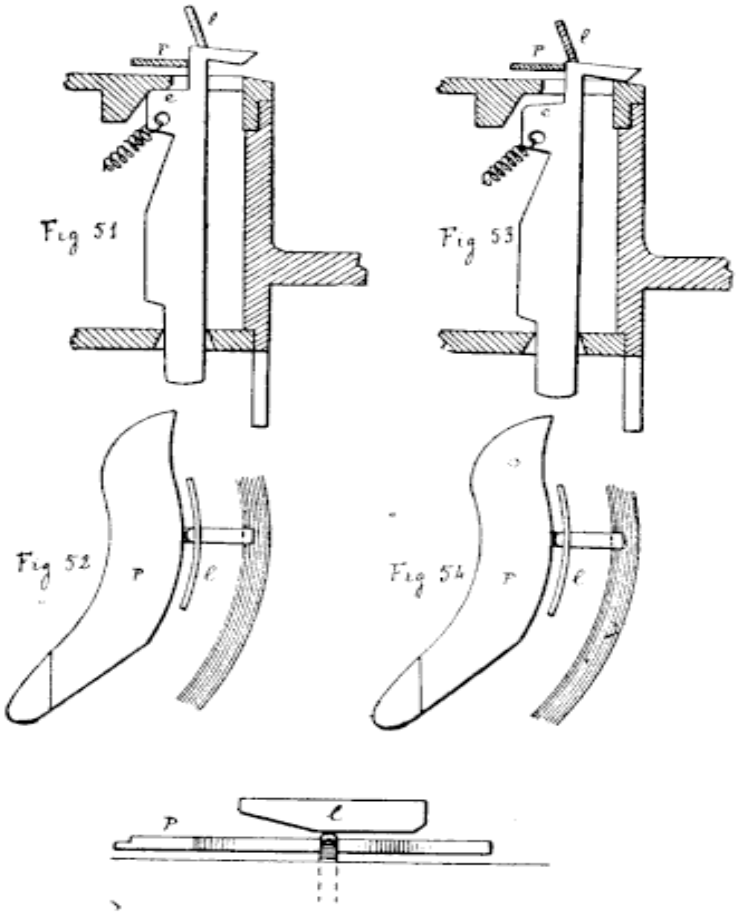
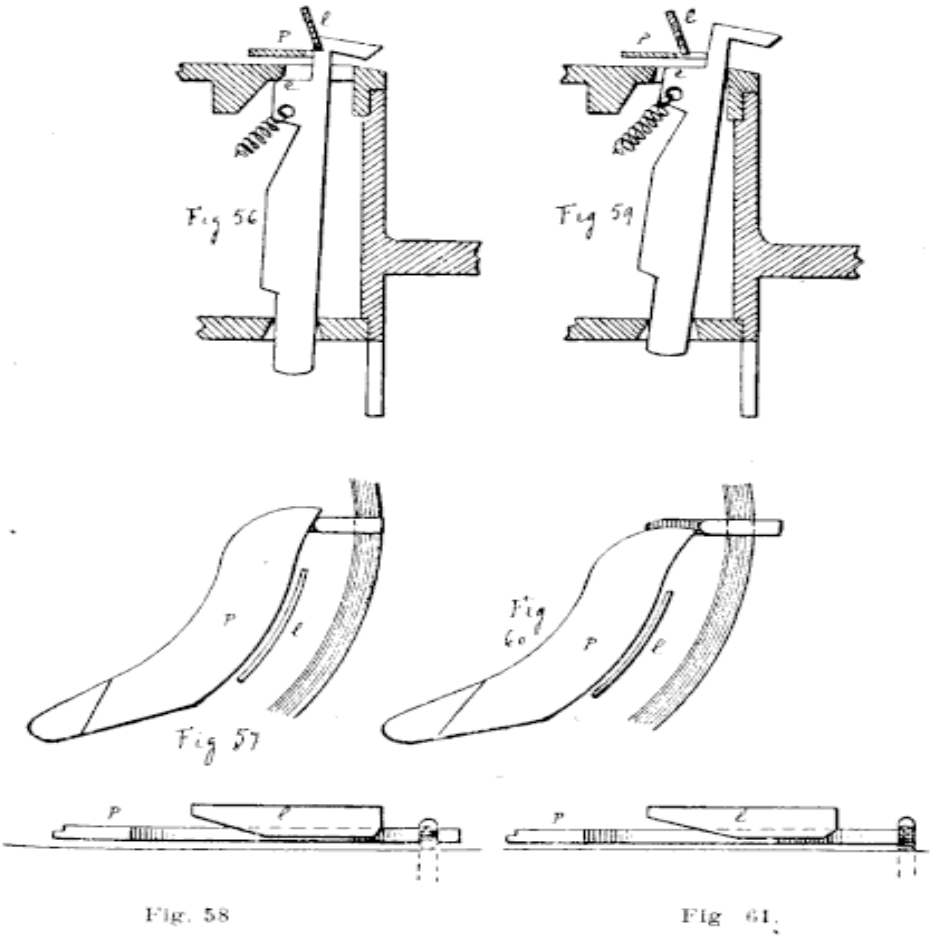


Fig. 55

Si la touche est, à ce moment, abandonnée, le goujon, sous la double action de son ressort et de la lèvre, s'abais-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sera d'une petite quantité, mais sera arrêté sur le bord de la fenêtre (fig. 53 et 54) et ne pourra descendre plus bas, la plaque de sûreté obstruant le passage. Le léger affaissement résultant de l'abandon de la touche aura eu seulement pour effet de diminuer la pression de la lame flexible U (fig. 43, p. 81) du levier de transmission sur la



vis B', où elle prend la pile, mais cette vis sera réglée, comme nous l'indiquerons plus tard, de telle sorte que la pression soit encore suffisante pour assurer la continuation de l'émission.

3e cas : *La touche est relevée trop tard.* — Nous avons dit plus haut que, lorsque la lèvre abandonne la tête du goujon, la partie extrême de la plaque de sûreté, appelée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chasse-goujon, rejette celle-ci vers l'extérieur. L'épaulement *e*, glisse horizontalement (fig. 56, 57 et 58). Si la touche est déjà abandonnée, le goujon sera rappelé par son ressort aussitôt que la partie extrême de la plaque de sûreté l'aura dépassé. Si, au contraire, à ce moment, on appuie encore sur la touche, cette pression fera ressortir complètement l'épaulement, qui viendra affleurer le bord supérieur de la fenêtre (fig. 59, 60, 61). L'enfoncement complémentaire que permettra à la touche ce nouveau mouvement ascensionnel du goujon indiquera à l'opérateur qu'il doit cesser d'appuyer, pour permettre au goujon de rentrer dans la boîte. Si cet avertissement n'était pas compris, le goujon, ainsi chassé vers l'extérieur, serait, au tour suivant, hors d'atteinte et la lèvre ne pourrait le rencontrer une seconde fois.

Il en résulte que, lorsqu'on voudra transmettre deux fois de suite la même lettre, on devra, après l'envoi de la première, abandonner la touche, puis l'abaisser de nouveau, comme s'il s'agissait d'une autre non encore actionnée.

Le rôle important joué par la plaque de sûreté permet, si la prise de pile est bien assurée, de se fonder, d'une façon certaine, sur le contrôle donné par le *déclanchement automatique*, dont nous parlerons plus loin. Aussi l'article 503-T autorise-t-il la suppression du collationnement, lorsque l'appareil est desservi par deux Agents, dont l'un compare la bande de contrôle avec l'original de chaque télégramme transmis par l'autre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V

ÉLECTRO-AIMANT

Avantages de l'électro-aimant polarisé. — L'électro-aimant de l'appareil Hughes doit être, à la fois, robuste et sensible.

Par « électro-aimant robuste », nous entendons que son armature doit être susceptible d'accomplir, en se déplaçant lors de la réception d'un courant, un travail mécanique assez considérable : la mise en marche d'un système de déclanchement, qui puisse déterminer l'impression automatique de la lettre correspondant au signal reçu. Or, dans un électro-aimant ordinaire, toute la force nécessaire au travail qu'on demande à l'armature doit être fournie par l'action magnétique du noyau sur celle-ci; dans l'électro-aimant Morse, par exemple, l'aimantation engendrée par le courant doit exercer sur l'armature une attraction suffisante pour vaincre son inertie et celle de toutes les pièces dont elle est solidaire, faire échec à l'opposition du ressort antagoniste, déplacer le couteau et presser suffisamment le papier contre la molette pour qu'une trace y soit laissée. Lorsque, pour une cause quelconque, faiblesse de la pile du correspondant ou pertes sur la ligne, le courant reçu a peu d'intensité, on se trouve dans l'obligation de réduire, par un réglage approprié, le travail demandé à l'armature : diminution de sa course par le rapprochement des butoirs, affaiblissement du ressort antagoniste, etc. De tels réglages ne seraient guère possibles dans l'appareil Hughes et, quoi qu'il en soit, nous voyons que, plus on exigera d'une armature un travail

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appréciable, plus le courant qui agira sur celle-ci devra être intense. Autrement dit, demander à un électro-aimant *ordinaire* d'être énergique, c'est renoncer à ce qu'il soit sensible.

Or, la sensibilité, c'est-à-dire la possibilité de fonctionner sous l'action de courants faibles, est une qualité *essentielle*, pour un électro-aimant qui doit différencier les signaux par le *moment* de leur apparition : nous avons vu avec quelle précision on s'est efforcé de déterminer, au départ, le moment et la durée de chaque émission; mais nous savons également (v. p. 61) quelles perturbations apportent dans la propagation des courants les influences multiples auxquelles les lignes sont constamment soumises. Voyons maintenant quelle répercussion auront ces influences extérieures sur deux électro-aimants de sensibilités différentes : soient *oi* et *oi'* les intensités nécessaires au fonctionnement de chacun d'eux (fig. 62);

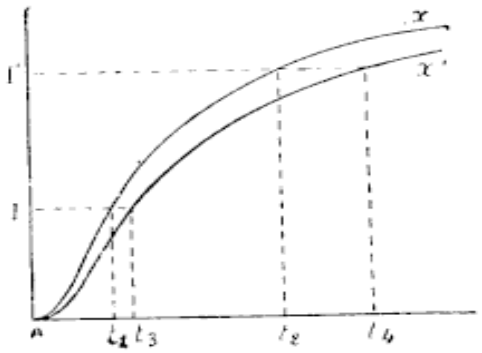


Fig. 62.

si le courant croît à l'arrivée, suivant la courbe *ox*, le premier fontionnera au bout d'un temps ot_1, le second après un temps plus long, ot_2; ce retard ne présenterait pas grand inconvénient si les choses restaient toujours ainsi, c'est-à-dire si, pour toutes les émissions, l'intensité s'accroissait suivant *ox*; mais nous savons qu'il n'en est pas ainsi et qu'à l'émission suivante nous pouvons avoir la courbe *ox'*, par suite d'influences différentes de celles qui existaient précédemment. Dans ces nouvelles conditions, les deux électro-aimants seront actionnés, respectivement, au bout des temps ot_3 et ot_4 : le retard occasionné par la modification de la courbe sera t_1t_2 pour le premier et t_3t_4 pour le second, celui-ci beaucoup plus grand que le retard qui a affecté l'électro-aimant sensible. On voit donc qu'une même variation dans l'accroissement de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'intensité aura, sur le *moment* du fonctionnement de l'armature, une répercussion d'autant plus grande que l'électro-aimant sera moins sensible, c'est-à-dire fonctionnera dans une période plus voisine de l'état stable.

L'électro-aimant Hughes devait donc, de toute nécessité, être sensible en même temps qu'énergique. On sait en effet (v. p. 73) que la « roue correctrice », qui guide la « roue des types », comporte 28 divisions; la vitesse réglementaire, souvent dépassée dans la pratique, étant de 120 tours par minute ou de 2 par seconde, chaque division met 1/56 de seconde pour passer devant la came correctrice : un retard de 1/56 de seconde ferait donc engager la came dans la division suivante : l'écart maximum que pourra rectifier la dite came sera donc inférieur à la moitié de ce temps, soit 1/112 de seconde.

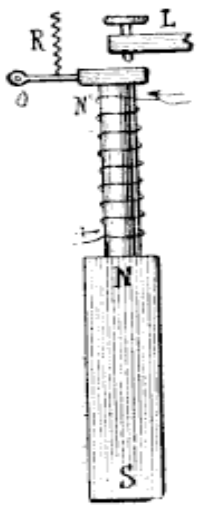


Fig. 63.

La réunion de ces deux qualités indispensables — énergie et sensibilité — qu'il eût été impossible de réaliser avec un électro-aimant *ordinaire*, Hughes l'a obtenue avec son électro-aimant *polarisé*.

Soit un aimant permanent NS (fig. 63), sur l'un des pôles duquel, le nord, par exemple, on a fixé le noyau en fer doux d'une bobine d'électro-aimant. Le noyau constituant, de la sorte, un prolongement du barreau aimanté présentera un pôle nord, N', à son extrémité. Plaçons maintenant, sur le noyau, une armature en fer doux, mobile autour du point O et munie, comme celle du Morse, d'un ressort antagoniste, R : elle restera collée au noyau, si l'action du ressort est inférieure à celle de l'aimantation. L'armature est donc, ici, soumise à la sollicitation de deux forces agissant en sens inverse : l'attraction magnétique, qui tend à la maintenir au contact du noyau et la tension du ressort R, qui agit pour l'en arracher. L'énergie avec laquelle l'armature sera maintenue dépendra de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

différence entre ces deux forces antagonistes. Tendons progressivement le ressort R, jusqu'au point où l'arrachement a lieu, puis revenons légèrement en arrière : l'armature, ramenée du contact du noyau, y restera; mais, à ce moment, la force du ressort étant presque égale à celle de l'aimantation, il suffira d'un effort très minime pour soustraire l'armature à cette dernière action.

Le rôle du courant qu'on fera passer dans la bobine consistera à affaiblir l'aimantation du noyau, pour permettre au ressort d'arracher l'armature; mais comme, grâce au réglage que nous venons d'effectuer, la prépondérance de la première est presque nulle, le courant qui produira cette action pourra être, lui-même, très faible. Il suffira de lui faire parcourir les spires de la bobine dans une direction telle que, s'il agissait seul sur le noyau, il développerait un pôle sud à l'extrémité de celui-ci; or, ce point est constamment aimanté nord, par l'influence de l'aimant NS : le pôle sud temporaire, engendré par le courant, viendra donc en atténuation du pôle nord permanent qui, devenu momentanément moins énergique que le ressort R, abandonnera l'armature à l'action de celui-ci. L'armature sera soulevée et viendra buter contre un levier L, chargé de mettre en marche le système imprimeur, pour la traduction du signal.

Nous nous trouvons donc, maintenant, en possession d'un électro-aimant très sensible, puisque le réglage convenable du ressort R nous permet de ne demander au courant qu'une action extrêmement faible; — d'un électro-aimant sur lequel les variations de l'intensité à l'arrivée apporteront le minimum de perturbations, en ce qui concerne le *moment* du soulèvement de l'armature; mais, en outre, cette dernière est susceptible d'effectuer un travail appréciable, car, dès qu'elle est soustraite à l'action de l'aimant, elle agit avec toute la puissance de son ressort. Il suffira donc, pour obtenir dans de bonnes conditions le travail qu'on attend de l'armature, d'employer, pour polariser le noyau, un aimant suffisamment puissant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on pourra, de la sorte, augmenter proportionnellement l'énergie du ressort, tout en conservant la même sensibilité.

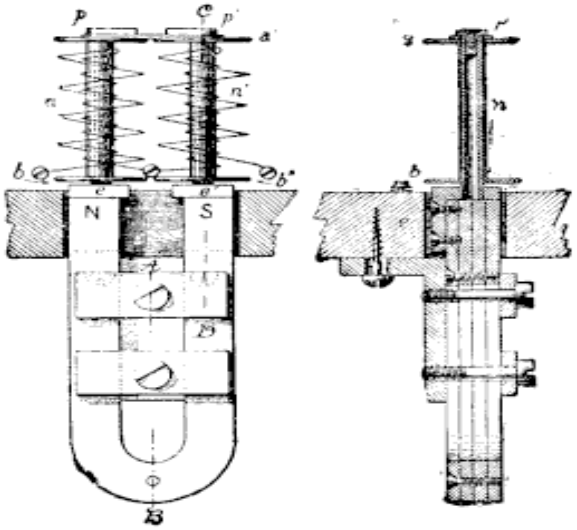
Après chaque soulèvement, l'armature devra être ramenée mécaniquement au contact du noyau, le ressort tendant ici à l'en éloigner constamment.

Description de l'électro-aimant. — L'électro-aimant Hughes comprend :

Un aimant permanent en fer à cheval;

Deux bobines d'électro-aimant, montées chacune sur l'une des branches de l'aimant;

Une armature en fer doux.



Faisceau magnétique.

Fig. 64 — Face. Fig. 65 — Coupes AB, CD

Aimant permanent. — L'aimant permanent est constitué par un faisceau de quatre plaques d'acier, en forme de fer à cheval, aimantées séparément et réunies par leurs pôles de même nom, au moyen de trois vis, également en acier (fig. 64 et 65). Chacune des deux branches est coiffée d'une équerre en fer, ee', fixée au faisceau par deux vis; sur cette équerre est emmanché le noyau, fendu longitudinalement, pour éviter les « courants de Foucauld » (qui se développeraient à la surface du noyau, lors du passage du courant principal, parallèlement à celui-ci et dans une direction inverse).

Une équerre en laiton, fixée sous la table de l'appareil par deux vis, sert à maintenir le faisceau magnétique, qui est appliqué contre l'équerre de la façon suivante : deux plaques en laiton sont percées, chacune, d'un trou lisse, dans lequel passe la tige d'une vis, qui taraude dans l'équerre support. Lorsqu'on bloque ces vis, on serre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fortement le faisceau entre l'équerre et les plaques; les vis passant entre les branches de l'aimant sans les toucher, ce montage permet de déplacer à volonté le faisceau, afin de donner à l'extrémité supérieure des noyaux la position qui convient, par rapport à l'armature qui, elle, est montée sur un support fixé à la table et doit occuper une position déterminée, en regard du « levier de détente ».

Dans la position ordinaire, l'extrémité supérieure du faisceau passant par une ouverture pratiquée dans l'épaisseur de la table, les équerres *ee'* dépassent légèrement la surface de celle-ci.

Electro-aimant. — Les noyaux sont, nous l'avons dit, montés sur les équerres *ee'*; à leurs extrémités sont fixées des joues en laiton, *ab* et *a'b'*, qui maintiendront le fil enroulé directement sur les noyaux (11,000 tours de fil n° 32, de 17/100 de millimètre, représentant une résistance de 600 ohms par bobine, soit 1,200 unités, au total).

A leur partie supérieure et en dehors des joues, chaque noyau est terminé par une petite plaque en fer doux, *pp'*, disposée horizontalement et dont l'extrémité libre est dirigée vers l'intérieur de l'aimant; les noyaux et les plaques polaires sont, en réalité, des prolongements des branches de l'aimant permanent et l'on trouvera, à l'extrémité de chacun d'eux, un pôle de même nom que celui sur lequel ils sont montés. Entre les joues et les plaques polaires, une petite plaque en laiton, percées de trous d'un diamètre exactement égal à celui des noyaux et dans lesquels ceux-ci sont engagés, solidarise les deux bobines, empêche tout écartement ou tout rapprochement et évite la déformation des pièces polaires sous les chocs de l'armature, au moment où elle est rappelée au contact.

Ajoutons que les noyaux sont creux; nous savons, en effet, que l'augmentation de leur masse aurait pour résultat d'affaiblir l'énergie des pôles permanents aux plaques polaires : en réduisant à l'état latent une partie proportionnelle du magnétisme fourni par l'aimant.

Enfin, trois bornes, fixées sur la table, reçoivent :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celle de gauche, le fil d'entrée de la bobine dite nº 1; celle du milieu, la sortie de la première et l'entrée de la seconde; celle de droite, la sortie de la bobine nº 2. Les deux bornes extrêmes traversent la table et reçoivent, en dessous, les fils que nous indiquerons lorsque nous verrons l'ensemble des communications électriques. Une petite boîte en bois, épousant en partie la forme extérieure des bobines protège les fils qui, venant des dites bobines, vont se rattacher aux bornes.

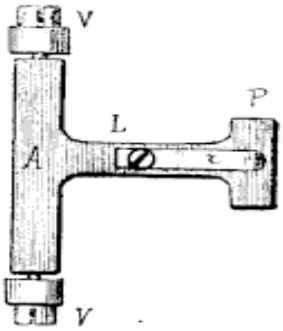


Fig. 66. — Armature.

Armature. — L'armature peut se décomposer en trois parties : son axe, A, un bras de levier, L, et l'armature proprement dite, P. Ces trois parties sont d'une seule pièce et en fer doux.

L'axe A, est percé, à chacune de ses extrémités, d'un trou lisse, dans lequel s'engage le bout, également lisse, d'une vis-axe, V, permettant un pivotement suffisamment doux. L'axe est relié à l'armature par une partie plus étroite ou levier L, sur lequel est fixé un petit ressort en acier, *r*; ce ressort a pour fonction d'amortir le choc de l'armature, lors de son soulèvement, contre le levier de détente; à cet effet, son extrémité libre est légèrement recourbée en forme de bec, et peut fléchir au moment du choc.

Enfin, l'armature proprement dite, P, constitue un épanouissement du levier; ses dimensions sont très réduites : elle peut juste s'appliquer sur les extrémités des plaques polaires, au contact desquelles elle doit rester tant que les bobines ne sont parcourues par aucun courant.

M. Hughes, dans une *Etude sur les électro-aimants*, publiée dans les *Annales télégraphiques* de septembre-octobre 1864, expose ainsi les considérations qui l'ont amené à munir les noyaux de plaques polaires et à rac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courcir l'armature de son électro-aimant. ... « On sait, depuis longtemps, que les pôles vrais d'un aimant sont situés à peu de distance de l'extrémité; mais il n'a encore été fait aucune tentative d'utiliser cette propriété dans la construction et le travail des électro-aimants... Je me déterminai alors à faire coïncider le pôle vrai de l'armature avec celui de la pièce de pôle, en raccourcissant l'armature. Les résultats furent plus heureux, la force croissant rapidement, à mesure que les pôles vrais s'approchaient l'un de l'autre et diminuant quand cette coïncidence était dépassée... L'armature, ainsi raccourcie, devient excessivement sensible et rapide dans son action. Elle travaille avec un effet constant, malgré une variation de courant beaucoup plus considérable qu'il n'est possible avec les arrangements ordinaires d'armatures. »

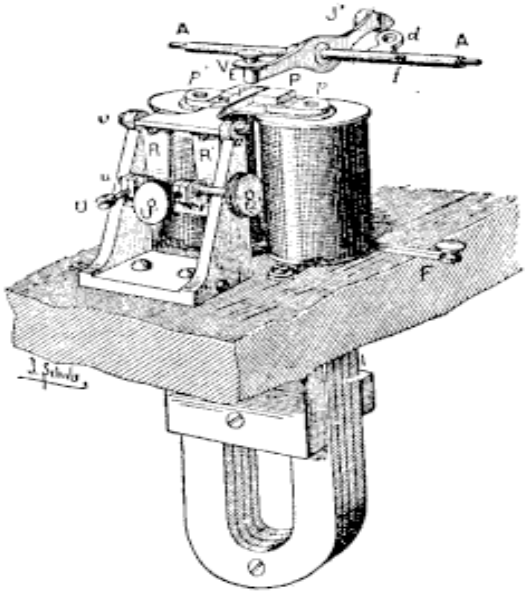


Fig. 67. — Électro-aimant.

Montage de l'armature. — Le support de l'armature consiste en deux consoles en laiton (fig. 67) réunies à leur base par une plaque de même métal, qui sert à les fixer sur la table, au moyen de deux vis à bois; les trous par lesquels passent ces vis sont allongés, permettant ainsi, un certain déplacement du support, pour le réglage de la position de l'armature par rapport au levier de détente. Ce réglage fait une fois pour toutes, on immobilise définitivement le support : la position de l'armature par rapport à l'électro-aimant se règle en déplaçant ce dernier.

A leur partie supérieure, les consoles sont percées d'un trou taraudé, dans lequel s'engage l'une des vis axes v de l'armature. Sur la face verticale et arrière de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'axe sont fixés deux ressorts lames en acier, R et R', susceptibles d'être plus ou moins tendus à l'aide de deux vis, U et U', munies de contre-vis, *u* et *u'*. La vis et la contre-vis d'avant, U' et *u'*, sont munies de boutons moletés, qui permettent de les manœuvrer à la main; ce sont celles qui serviront au réglage quotidien de l'électro-aimant : on enfoncera plus ou moins la première, puis on l'immobilisera en serrant la seconde. Les deux autres, U et *u*, situées à l'arrière et agissant sur le ressort R, sont des vis ordinaires, pour la manœuvre desquelles le tournevis est indispensable. Nous indiquerons, dans la partie spéciale au réglage, les cas où on aura à en faire usage.

Ajoutons enfin que le support de l'armature porte, à la base, une vis destinée à recevoir un fil de communication; on s'en servira pour établir une dérivation du courant de ligne, lorsque l'armature sera soulevée, ainsi que nous le verrons plus loin.

Electro-aimant Poëncin. — Le montage qui vient d'être décrit présente quelques inconvénients, notamment en ce qui concerne le réglage de l'armature par rapport aux noyaux. M. Poëncin, ouvrier mécanicien aux Ateliers, propose un dispositif qui permettrait de rendre ce réglage absolument stable, et qui est le suivant : l'aimant permanent, au lieu d'être fixé verticalement sous la table, est placé horizontalement comme l'indique la figure 68, ci-contre; sur chaque pôle, une équerre en acier, E, est fixée au faisceau; sur la branche libre de cette équerre est vissé le noyau de l'une des bobines; le support de l'armature S est monté à cheval sur les deux équerres polaires, dont il est isolé par une petite plaque en ivoire, *i*. Le tout est fixé sur la table par un écrou à oreilles, O, traversant celle-

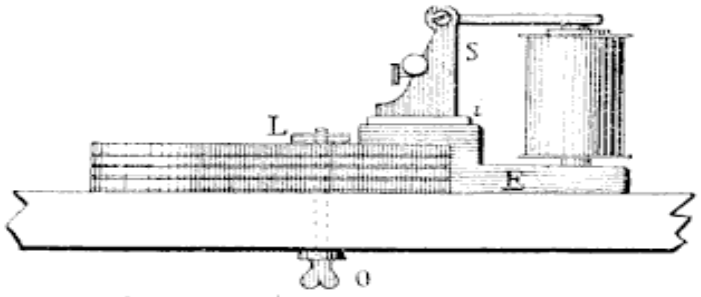


Fig. 68. — Électro-aimant Poëncin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ci et venant tarauder, entre les deux branches du faisceau dans une barrre en laiton, L. La position relative de l'armature et des noyaux peut ainsi, une fois pour toutes, être bien définies comme il sera indiqué au chapitre « réglage »; il ne reste, avant de serrer l'écrou à oreilles, qu'à placer convenablement l'armature par rapport au levier de détente.

Fer doux mobile. — L'électro-aimant est, en outre, muni d'une petite pièce de fer doux, F (fig. 67 et 69), terminée à sa partie antérieure par un bouton, B, qui permet de la déplacer sur la table; l'extrémité opposée du bouton est plus large et terminée en un biseau allongé; un petit pontet en laiton, fixé sur la table, guide les déplacements de la pièce. Le biseau est ainsi susceptible de glisser le long des extrémités des branches de l'aimant permanent, au point de jonction de celles-ci avec les noyaux de l'électro-aimant. En enfonçant plus ou moins ce biseau, on diminuera l'intensité de l'aimantation à l'extrémité supérieure des noyaux, puisqu'on fermera le circuit magnétique en dehors de ceux-ci; le magnétisme ainsi dévié sera proportionnel à la masse de fer qu'on aura mise en regard des branches de l'aimant. L'adjonction de cette pièce en fer doux permettra donc de régler l'armature au maximum de sensibilité, sans qu'on soit obligé de tendre exagérément les ressorts; on donnera à ceux-ci l'énergie strictement nécessaire au travail qu'on attend de l'armature et l'on agira ensuite, pour parfaire, sur l'intensité de l'aimantation des noyaux.

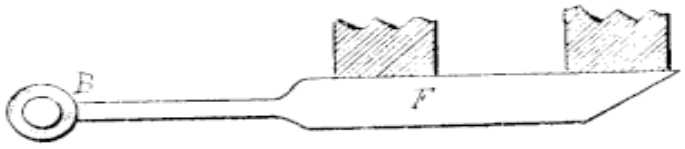


Fig. 69. — Fer doux.

Induction produite par les déplacements de l'armature. — Toute variation dans l'intensité d'un champ magnétique engendre, dans un circuit fermé placé à proximité, un courant d'induction (V. p. 50). Or, l'armature, en s'éloignant puis en revenant au contact des noyaux, fait varier le champ magnétique : celui-ci diminue dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le premier cas et augmente dans le second. Deux courants induits résultent donc de cette double variation et parcourent successivement le circuit des bobines. Pour connaître leur direction, il suffit de se rappeler l'analogie qui existe entre l'action produite par les courants induits et l'inertie mécanique : de même qu'un corps matériel s'oppose, proportionnellement à sa masse, à tout changement dans son état de repos ou de mouvement, de même la direction d'un courant induit est toujours telle que, réagissant à son tour sur la cause qui l'a produit, il tend à annuler cette cause, en d'autres termes, à rétablir l'état qui existait précédemment : le premier courant induit développé au moment de l'éloignement de l'armature, tend donc à renforcer le champ magnétique qui s'affaiblit, tandis que le second affaiblit le champ qui se renforce; par rapport au courant venant de la ligne, le premier sera de sens inverse et le dernier de même sens.

Le courant inverse, n'aurait qu'un inconvénient : celui de retarder la décharge du conducteur; il ne pourrait pas altérer le signal qui l'a produit, car nous savons que l'armature, une fois détachée des noyaux, est énergiquement éloignée de ceux-ci, tandis que l'attraction diminue au contraire, très rapidement. Mais le courant direct qu'engendrera l'armature, lorsqu'elle sera ramenée mécaniquement au repos, affaiblira les pôles au moment même où ceux-ci devraient posséder toute leur intensité pour la garder au contact. L'armature ne sera pas maintenue, ses ressorts la soulèveront à nouveau et, comme le même phénomène se produira à chaque rappel, on aura une suite de déclanchements continus rendant toute correspondance impossible.

Interrupteur automatique. — Comme un courant d'induction ne peut se développer que dans un circuit complètement fermé, on a remédié à cet inconvénient en plaçant, dans celui des bobines, un interrupteur susceptible de le rompre pendant que l'armature est soulevée, et de ne le rétablir qu'après le rappel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'interrupteur est constitué par deux ressorts en acier R et R' (fig. 70), dont l'un, R', est relié à la ligne et l'autre, R, à l'entrée des bobines; la pièce d'ébonite E les isole l'un de l'autre. A l'état de repos, l'une des cames portées par l'axe imprimeur A, la came correctrice, C, appuie sur un bout d'ébonite, E', porté par le ressort R et, faisant fléchir celui-ci, l'oblige à venir au contact du ressort R': la ligne se trouve ainsi reliée à l'électro-aimant récepteur. Dès que l'armature est soulevée, l'arbre des cames se mettant en mouvement, la came correctrice quitte la pièce d'ébonite E' et permet au ressort R de se redresser; ce dernier se sépare du ressort R' et le circuit des bobines se trouve isolé de la ligne. Le rappel mécanique de l'armature ayant lieu, comme nous le verrons plus loin, avant le retour au repos de l'arbre des cames, le courant d'induction ne peut se produire et l'armature est retenue dès qu'elle arrive au contact des noyaux.

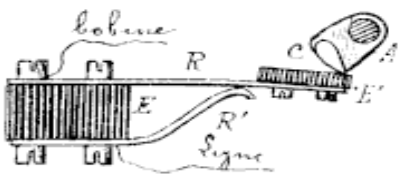


Fig. 70.

Pour la commodité du réglage, la pièce d'ébonite E, qui supporte les deux ressorts et les isole l'un de l'autre, est maintenue sur la platine de l'appareil par une seule vis, autour de laquelle elle peut pivoter : ce dispositif permet de régler la pression des ressorts, ainsi que le moment où le circuit est interrompu et celui où il est rétabli.

Remarque. — Les courants d'induction, dont nous nous occupons ici, tout en agissant concurremment avec les courants de self-induction ordinaires (V. p. 52) sont indépendants de ceux-ci : on peut, en effet, voir le dernier, tout au moins, se manifester sur un appareil isolé de toute communication extérieure : il suffit, pour cela, de fermer complètement le circuit des bobines en réunissant par un fil conducteur les bornes de ligne et de terre et en supprimant, d'une façon quelconque, l'interrupteur (par exemple, on intercale, entre les ressorts R et R', une lame de couteau, tourne-vis, etc.); dans ces conditions, si,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'appareil étant en marche, on soulève avec le doigt l'armature, on constate le déclanchement continu mentionné plus haut, bien qu'aucun courant ne soit intervenu pour déterminer le premier déplacement.

Dérivation. — L'emploi de l'interrupteur ayant pour effet d'isoler la ligne des bobines pendant tout le temps que l'arbre des cames accomplit sa révolution, il a fallu assurer la décharge du conducteur en le mettant directement à la terre dès que l'armature est soulevée. Le support de celle-ci (fig. 67), isolé du reste de l'appareil tant qu'elle est au repos, se met, au contraire, en communication avec le massif dès le soulèvement, en venant buter contre le levier de détente : on a donc relié le massif à la ligne et l'armature à la terre — ou inversement — de telle sorte qu'aussitôt que le courant a produit son effet, le surplus, venant de la ligne, s'écoule à la terre, sans passer par les bobines de l'électro-aimant. On évite ainsi le ralentissement de la décharge, qui résulterait de l'interruption du circuit à l'une de ses extrémités.

Il est à remarquer que, pendant la transmission, le contrôle étant donné par un « déclanchement automatique » (V. p. 72), l'armature reste au repos et est, par conséquent, isolée du massif; toutefois, à la fin de l'émission, le levier de détente vient, pendant un temps très court, au contact du ressort que porte, sur sa face supérieure, l'armature : la ligne se trouve donc mise à la terre, au moment où le levier de transmission parcourt le chemin qui sépare la vis de pile de celle de repos : la décharge, commencée par cette terre directe se continue ensuite à travers les bobines de l'électro-aimant, dès que le dit levier de transmission est revenu contre sa vis inférieure de butée.

Commutateur inverseur. — Le courant reçu de la ligne devant développer des polarités inverses de celles de l'aimant permanent, sa direction dans les bobines n'est pas indifférente; d'autre part, il importe de pouvoir recevoir aussi bien sous l'action de l'un que de l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des deux courants, positif ou négatif; ceux-ci, ayant des directions inverses, engendreraient des polarités différentes. Il a donc fallu intercaler, entre la ligne et les bobines, un commutateur inverseur, grâce auquel le courant, quel que soit le pôle qui l'émet, parcourra toujours celles-ci dans le même sens et y produira, par suite, toujours le même effet.

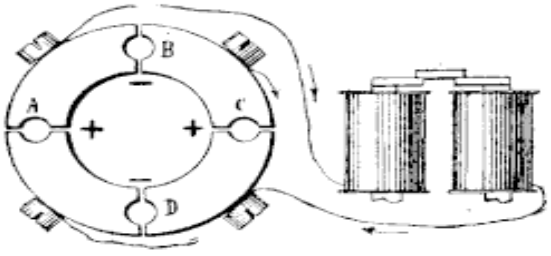


Fig. 71.

Ce commutateur est constitué par un disque assez épais, en laiton, posé sur un socle en ébonite et divisé en quatre quadrants (fig. 71); ceux-ci peuvent être réunis deux à deux par des fiches en laiton, filetées, qu'on visse dans des trous taraudés, A, B, C, D. Pour recevoir le courant positif, on placera lesdites fiches (fig. 72) sur A et C : on reliera ainsi la bobine de gauche à la ligne et celle de droite à la terre. Si le correspondant envoie le courant négatif, on mettra les fiches sur B et D : la bobine de gauche sera à la terre et celle de droite à la ligne. L'entrée et la sortie se trouvant inversées en même temps que la direction du courant, celui-ci aura, dans les bobines, le même sens que le précédent, et les flèches qui l'indiquent (fig. 71) s'appliquent à l'un comme à l'autre.


Fig. 72

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI

DÉTENTE

Rôle de la détente. — Le soulèvement de l'armature devra être utilisé pour mettre en mouvement le mécanisme imprimeur, lequel doit opérer la traduction automatique du signal reçu et l'impression typographique de la lettre qui lui correspond. Le système de déclanchement ou de détente aura pour objet de déterminer la mise en marche d'un « arbre des cames » qui, comme son nom l'indique, porte une série d'excentriques destinés, notamment, à produire l'impression des signaux et la progression du papier, en agissant sur des leviers disposés à cet effet. Cet arbre, à chaque soulèvement de l'armature, devra accomplir une révolution complète, puis revenir à la position de repos, jusqu'à nouveau soulèvement : c'est le seul axe de l'appareil qui ne soit pas animé d'un mouvement de rotation continu.

Levier de détente. — L'organe intermédiaire, entre l'armature de l'électro-aimant et le mécanisme imprimeur, est le « levier de détente » ou d'échappement. Il se compose de deux branches L et L' (fig. 73) et est mobile autour d'un axe, A, situé à leur point de rencontre; cet axe pivote entre les deux platines de l'appareil, comme ceux du mouvement d'horlogerie, auxquels il est parallèle. Toutefois, il est monté sur deux coussinets portés par les platines et non engagé dans celles-ci, comme les autres axes, ce qui permet de l'enlever, le cas échéant, sans être obligé de procéder à un démontage général. Le levier de détente est maintenu dans la position qu'indique la figure 73, par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressort lame, R, qui agit sur un petit bras de levier, B, et tend à abaisser la branche L; nous verrons bientôt comment ce mouvement est limité du côté de la branche L'.

La branche de gauche du levier de détente porte, à son extrémité, une vis V, avec contre-vis, qu'on règle de telle sorte qu'à l'état de repos, l'extrémité inférieure de

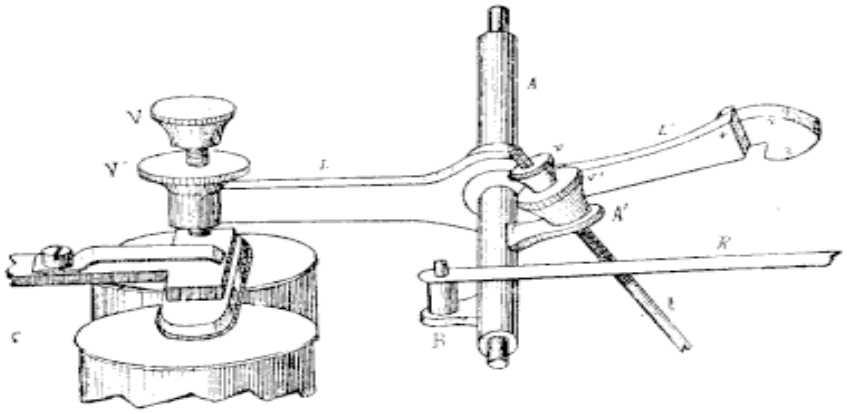


Fig. 73 — Levier de détente.

la vis se trouve à une petite distance de l'armature, mais sans la toucher : il importe, en effet, qu'un certain jeu soit laissé à l'armature, afin qu'elle soit complètement soustraite à l'action de l'aimant, au moment où elle doit travailler; en outre, s'il y avait contact permanent entre l'armature et le levier de détente, la dérivation dont nous avons parlé plus haut (v. p. 104) serait établie en permanence et l'électro-aimant resterait hors du circuit.

La branche de droite, L, se termine par une pièce appelée « tête de levier de détente », comprise entre une surface courbe, x, ascendante de droite à gauche, une autre surface courbe z, et une paroi verticale qui la rattache à la partie inférieure du levier; à la partie supérieure de la courbe, x, se trouve une petite saillie ou épaulement e.

Sur la partie de droite de l'axe A se trouve un petit collier A', dans lequel s'engage une tige t, filetée à sa partie supérieure et munie d'une vis v, avec contre-vis v'. Cette dernière partie servira pour le déclanchement automatique, destiné à donner mécaniquement le contrôle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la transmission : nous examinerons plus tard ce dispositif.

Arbre des Cames. — L'arbre des cames est placé au-dessous de la tête du levier de détente, perpendiculairement à celui-ci, c'est-à-dire parallèlement à son axe. Il est situé sur le prolongement de l'axe du volant et est, à l'état normal, immobile, tandis que l'axe du volant tourne d'un mouvement continu : le système d'embrayage, que nous allons décrire, constitue une liaison temporaire établie entre le premier et le second, au moment du soulèvement de l'armature, afin que l'arbre des cames fasse un tour entier, puis reprenne aussitôt sa position de repos.

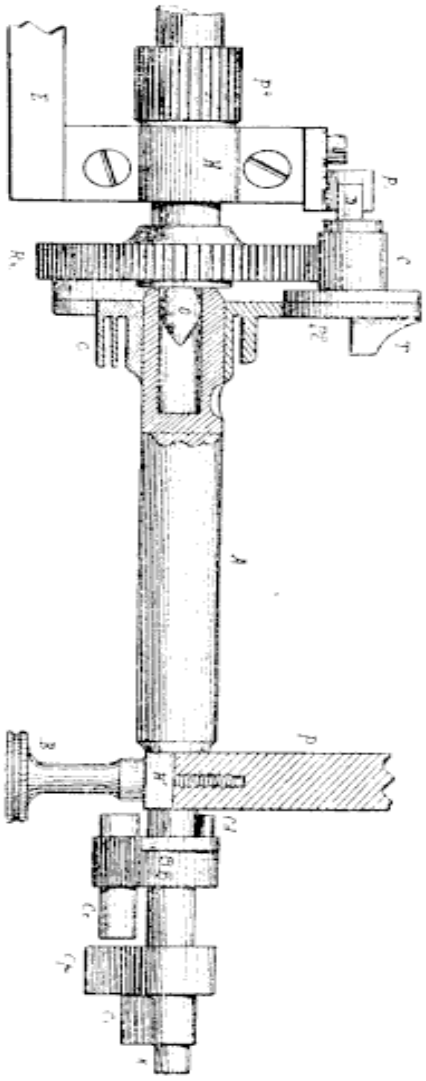


Fig. 74. — Arbre des cames

L'axe du volant sera décrit en détails lorsque nous nous occuperons de la régularisation du mouvement; pour le moment, nous représentons seulement (fig. 74) son extrémité antérieure, qui reçoit le mouvement par le pignon P, et est supporté par un coussinet, H, fixé lui-même à la platine postérieure par l'intermédiaire d'une équerre en laiton, E. En avant du coussinet, H, est montée une roue à rochet, R*r*, dont les dents sont tournées du côté du mouvement, lequel est inverse de celui des aiguilles d'une montre.

L'axe du volant est terminé à l'avant par une olive, O, qui va servir de point d'appui à l'extrémité postérieure de l'arbre des cames, A, percée, à cet effet, d'un forage cylin-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

drique. Cette olive tournera à l'intérieur de l'axe immobile et sa forme a précisément pour but de réduire, autant que possible, le frottement qui en résultera.

L'arbre des cames est soutenu sous la platine antérieure, P, par un coussinet, H', fixé au moyen de deux vis à bouton moleté, B. L'extrémité, K, s'engage dans un trou que porte une équerre en laiton, fixée à la platine, P; la figure 74 ne peut représenter cette équerre, car elle cacherait les quatre cames placées entre ces deux derniers points d'appui et qui sont :

La came d'impression, C*i* ;

La came de progression, C*p* ;

La came correctrice, C*c* ;

La came de dégagement, C*d*.

Nous examinerons plus loin l'agencement et le rôle de ces excentriques.

A la partie postérieure de l'arbre des cames se trouve (fig. 75) une pièce à deux branches, PE, appelée plaque d'échappement ou de détente. La branche supérieure porte une partie en saillie, ou taquet, *t* ; derrière le taquet, la plaque d'échappement supporte l'axe du cliquet, C, dont les dents ont les mêmes dimensions et la même forme que celles du rochet R*r*, mais sont dirigées en sens inverse.

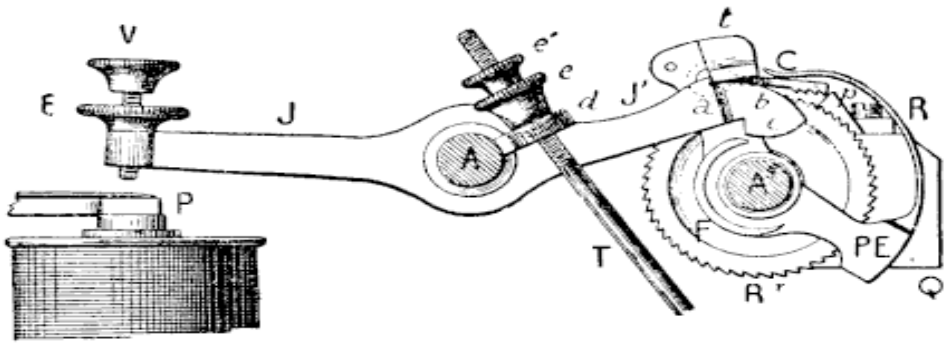


Fig. 75. — Système de détente au repos.

Le cliquet porte, à sa partie arrière, un doigt, D, qui, à l'état de repos, s'appuie sur la face de gauche d'un plan incliné, P, lequel empêche le cliquet de tomber sur la roue à rochet, malgré la sollicitation d'un ressort courbe en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

acier, R. Le doigt ne pourra pas glisser le long du plan incliné, à cause du levier de détente (fig. 75), dont l'épaulement, *a*, arrête le taquet, *t*, et immobilise, dans cette position, toute la plaque d'échappement et, avec elle, l'arbre des cames, A. Le rochet tournera donc librement au-dessous du cliquet sans l'entraîner.

Embrayage de l'arbre des Cames. — Lorsque l'armature sera soulevée, elle viendra buter contre la vis de

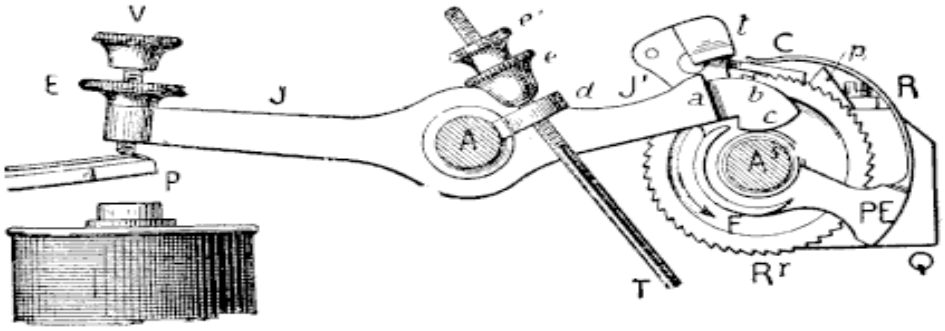


Fig. 76. — Embrayage.

réglage du levier de détente : la branche J, entraînée dans ce mouvement, s'élèvera, pendant que la branche J' s'abaissera (fig. 76). L'épaulement se dérobant à l'appui du taquet, *t*, la plaque d'échappement, sous l'action de son propre poids (et aussi, comme nous le verrons plus loin, sous une pression concordante exercée par le levier de progression sur sa came), la plaque d'échappement, disons-nous, tombera vers la gauche; le doigt du cliquet, suivant le mouvement de la plaque dont il est solidaire, ne sera plus retenu par le plan incliné, *p*, et les dents du cliquet viendront s'emboîter dans celles de la roue à rochet, R*r*. La liaison entre l'axe du volant et l'arbre des cames sera établie : ce dernier sera entraîné dans le mouvement du premier.

Rappel de l'armature. — Pendant que les différentes cames rempliront leurs fonctions, l'armature doit être ramenée au contact des plaques polaires, afin d'être prête à enregistrer un nouveau signal dès que l'arbre des cames sera revenu à la position de repos. Or, l'armature étant sollicitée par ses ressorts à s'éloigner des noyaux, c'est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le levier de détente qui remplira cette fonction. A cet effet, l'arbre des cames porte, devant la plaque d'échappement, un excentrique appelé colimaçon, F, qui, lorsque les trois quarts environ de la révolution sont accomplis, passe sous

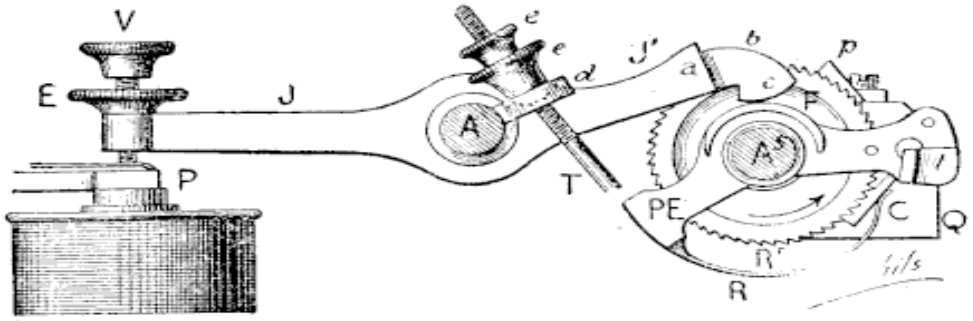


Fig. 77 — Rappel de l'armature.

la tête du levier de détente; la branche de droite est soulevée, celle de gauche abaissée : la vis V, réglée convenablement, oblige l'armature à revenir contre les noyaux, où elle reste collée.

Désembrayage. — L'arbre des cames, sa révolution complètement terminée, doit revenir à l'état de repos précédemment décrit. En effet, le taquet rencontrera bientôt la partie courbe ascendante, *b*, de la tête du levier de détente, pendant que le doigt du cliquet trouvera, sur son passage, la face de droite du plan incliné. La vitesse acquise de l'arbre des cames leur permettra de surmonter les obstacles qui leur sont ainsi opposés : le doigt du cliquet fera l'ascension du plan incliné, ses dents seront séparées de celles du rochet; pendant ce temps le taquet, obligeant la tête du levier de détente à s'abaisser, malgré l'action contraire du ressort antagoniste, R, gravira la pente *b*, et rencontrera l'épaulement *a*, qui l'arrêtera. A ce moment, le doigt du cliquet, ayant franchi l'arête du plan incliné, reposera, non loin de celle-ci, sur la pente de gauche : la liaison entre l'arbre des cames et celui du volant sera rompue et le crochet, R*r*, continuera à tourner librement, en attendant un nouveau soulèvement de l'armature.

Il est à remarquer que le travail exigé du taquet et du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doigt du cliquet, après la rupture de l'entraînement du rochet, a pour effet de dépenser une grande partie de la vitesse acquise par l'arbre des cames et d'amortir ainsi le choc inévitable entre le taquet et l'épaulement, choc qui, vu la grande vitesse de l'arbre du volant, — 14 tours, environ, par seconde, — serait, sans cette circonstance, très considérable. D'un autre côté, la vitesse minima à laquelle on pourra faire fonctionner l'appareil se trouve limitée au régime au-dessous duquel la vitesse acquise serait insuffisante pour assurer ce travail du taquet et du cliquet. Si, par exemple, l'armature vient à être soulevée avant que l'appareil, mis en marche, ait pris un régime suffisamment accéléré, on voit le taquet, à la fin de sa révolution, rester au bas de la courbe *b*, tandis que le doigt du cliquet est arrêté par la face ascendante du plan incliné; les dents du cliquet traînent sur celles du rochet, en produisant un grincement aigu : il faut alors pousser le taquet, pour l'aider à gravir la tête du levier de détente et atteindre l'épaulement. Il est prudent d'appuyer le pouce de la main gauche sur l'armature, pendant que l'index ramène le taquet, car, si l'armature était soulevée à ce moment, l'appareil ayant eu le temps de prendre sa vitesse normale, le bout du doigt pourrait être pris entre le taquet et l'épaulement, à la fin de la révolution provoquée par ce soulèvement intempestif.

Il est bon également de remarquer que le ressort du levier de détente (fig. 73), joue un rôle important, non seulement au point de vue de la dépense de force acquise qu'il impose au taquet, lorsque celui-ci abaisse, pour la gravir, la tête du levier, mais encore parce qu'il assure la stabilité de l'épaulement au moment du choc du taquet : si le ressort était trop faible, le levier de détente serait abaissé plus brutalement par le taquet et le choc serait d'autant plus violent; en outre, ce choc, par suite de l'abaissement trop grand du levier, pourrait avoir lieu trop près de l'arête de l'épaulement : le taquet passerait par-dessus, et l'on aurait une « roulade », c'est-à-dire une suite de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déclanchements semblables à ceux qui résultent d'un courant continu dans l'électro-aimant.

Suppression de l'olive. — M. Hilten, agent-mécanicien, à Paris-Bourse, vient de proposer la suppression de l'olive qui termine l'axe du volant (v. p. 107, fig. 74) et son remplacement par un palier qui, monté sur le pont du chariot, P', soutiendrait l'arbre des cames à sa partie postérieure. Les inconvénients qui ont amené M. Hilten à formuler sa proposition sont les suivants :

1° A l'état de repos, la pression du ressort courbe sur le cliquet d'embrayage tend à soulever l'arbre des cames et à l'appliquer contre l'olive; celle-ci, tournant rapidement, il en résulte d'abord son usure propre, ensuite un excentrage du trou au point où a lieu le frottement : l'arbre des cames prend donc un jeu de plus en plus grand. Au bout d'un certain temps, lors du déclanchement, les dents du cliquet se présentent mal à celles du rochet et glissent avant de s'y emboîter; d'où des irrégularités dans la traduction des signaux; en outre, il résulte de ces glissements une usure rapide des dents et le réglage de l'embrayage devient de plus en plus précaire, jusqu'au moment où l'on se trouve contraint de remplacer les pièces détériorées;

2° Dès que le jeu dont il s'agit excède 1/2 millimètre, la netteté de l'impression est plus difficile à obtenir, par suite du mouvement de bascule de l'axe dans le sens de sa longueur;

3° Lorsqu'on veut travailler à très grande vitesse, 170 tours, par exemple, il y aurait avantage à augmenter la tension du ressort courbe, pour assurer un embrayage rapide et régulier; mais on augmenterait ainsi le bridage dont nous venons de parler. La modification préconisée par M. Hilten permettrait, au contraire, de donner au ressort toute l'énergie nécessaire, sans aucun inconvénient.

Nous ignorons, à l'heure actuelle, quel sort est réservé à cette proposition; il nous a paru, néanmoins, intéressant de la mentionner ici.

Embrayage Poëncin-Eglin. — M. Poëncin, méca-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nicien aux ateliers de l'administration, a réalisé une modification de l'embrayage allemand, dans lequel le rochet de l'axe du volant, au lieu d'avoir les dents placées sur la périphérie et parallèles à l'axe, est entaillé en couronne sur le pourtour de la face avant, et suivant des rayons, comme le montre la figure 78 ci-contre. Le cliquet, solidaire de l'arbre des cames, est remplacé par un rochet semblable au premier, dans les dents duquel les siennes viennent s'emboîter lors du déclanchement.

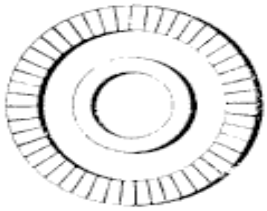


Fig. 79
Rochet en bout d'axe.

La figure 79 montre l'ensemble du système de M. Poëncin à l'état de repos. Le rochet R tourne constamment avec l'axe du volant, V, sur lequel il est monté; le plan incliné, P, est placé comme dans le système ordinaire, mais couché, c'est-à-dire avec son arête *a* dans un plan vertical. Sur l'arbre des cames, C, nous trouvons la plaque de détente Pl, avec le colimaçon, et son taquet T, qui vient s'appuyer sur l'épaulement du levier de détente; la seconde branche de la plaque de détente est supprimée ainsi que le ressort courbe qu'elle porte dans l'ancien système. Le cliquet-rochet, R', est monté sur un manchon M, qui peut glisser à frottement doux sur l'arbre des cames C; ce manchon

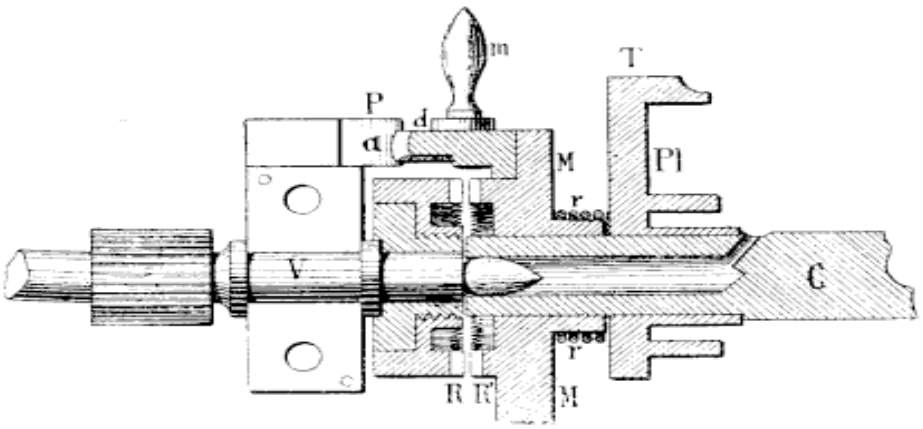


Fig. 79. — Embrayage Poëncin.

est sollicité à s'éloigner de la plaque de détente et à se rapprocher du rochet R, par un ressort en acier *r*, enroulé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autour de la partie antérieure du dit manchon; il est guidé dans ce mouvement par une clavette montée sur l'arbre et qui s'engage dans une rainure pratiquée dans le manchon : la solidarité entre celui-ci et l'axe, pendant la rotation, est ainsi assurée. A l'état de repos, le manchon est retenu dans la position qu'indique la figure par un petit doigt, *d*, qui s'appuie sur la face de gauche du plan incliné P.

Au moment du déclanchement, l'épaulement du levier de détente se dérobant à l'appui du taquet T, la plaque de détente Pl bascule, le doigt, *d*, peut alors glisser le long du plan incliné et, sous l'action du ressort, *r*, le manchon M se déplace d'avant en arrière, mettant en prise les dents des rochets R' et R : l'embrayage est opéré. A la fin de la révolution de l'arbre des cames, le doigt *d* rencontre la face de droite du plan incliné et se trouve repoussé vers l'avant; les rochets se séparent et l'arbre vient au repos lorsque le taquet T rencontre l'épaulement du levier de détente. A ce moment, l'arête du doigt *d* a franchi celle du plan incliné et tout rentre dans la position indiquée sur la figure. Il va sans dire que le colimaçon a, entre temps, rappelé l'armature de l'électro-aimant au contact des noyaux.

Le système est complété par une petite manette *m*, qui permet de ramener le système à la position de repos, lorsque la vitesse acquise a été impuissante à le faire, par exemple, si le déclanchement a été provoqué avant que l'appareil ait pris son régime normal (v. p. 111).

Modification Eglin. — L'embrayage qui vient d'être décrit a donné lieu aux critiques suivantes : la rencontre du doigt *d* du plan incliné P imprime au manchon une pression qui s'exerce d'un seul côté; il en résulte que le manchon ne se meut pas dans un plan parfaitement perpendiculaire à son axe et se coince sur l'arbre, en opposant au mouvement une résistance d'autant plus grande que le ressort *r* est plus tendu, ce qui amène à réduire la pression de ce ressort pour éviter des ralentissements; mais cette réduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion n'est opérée qu'au détriment de la qualité de l'embrayage, car la vitesse de rotation du rochet R étant très

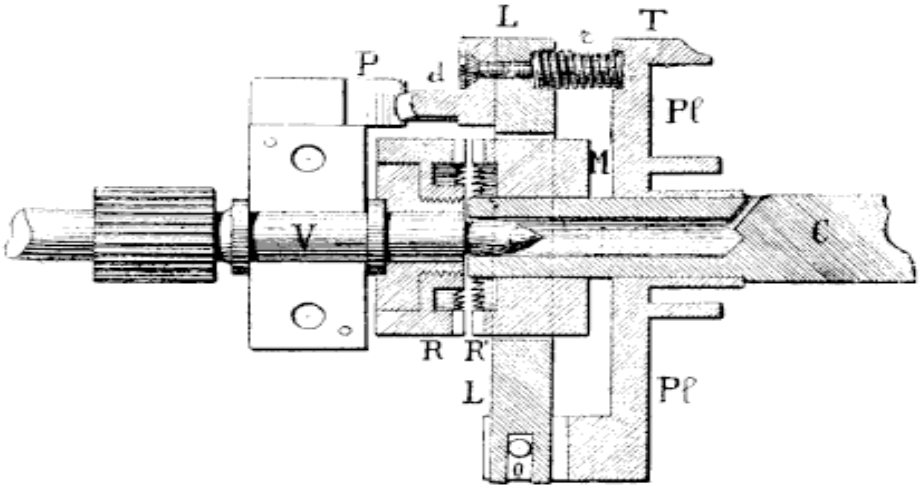


Fig. 80. — Embrayage Eglin.

grande (900 à 1.100 tours par minute), il importe, comme nous l'avons dit plus haut, que le manchon soit poussé très énergiquement afin d'éviter le glissement des dents les unes sur les autres et d'assurer l'entraînement immédiat de l'arbre des cames. — D'autre part, la clavette, qui assure la solidarité entre ce dernier et le manchon, est d'un ajustage difficile; elle prend, à l'usage, un jeu qui permet un frottement nuisible au fonctionnement des cames, celle de correction en particulier. (V. plus loin « rôle de la came correctrice. »)

Pour remédier à ces inconvénients, M. Eglin, agent-mécanicien au Poste Central, préconise le montage suivant (fig. 80 et 81) . Le doigt *d* n'est plus directement solidaire du manchon M, qui porte le rochet mobile R'; ce doigt est monté sur un levier L, articulé en O sur la branche inférieure de la plaque de détente, Pl, et sollicité par un ressort, *r*, à pivoter d'avant

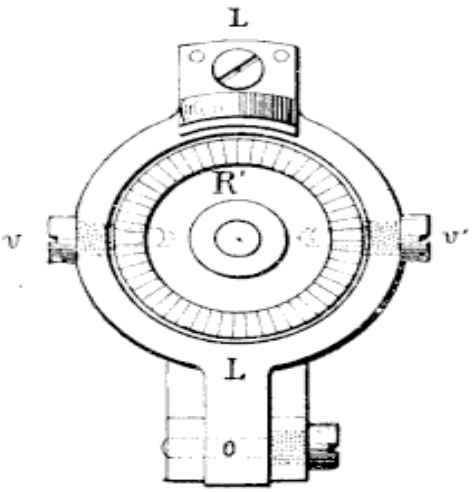


Fig. 81. — Rochet en bout d'axe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en arrière. La liaison entre ce levier L et le manchon M est établie à l'aide de deux vis axiales c et c' (fig. 81), qui, lors des déplacements du levier, guident le manchon, non plus d'un seul côté, comme précédemment, mais bien par les deux extrémités d'un même diamètre : le coincement est donc rendu ici impossible; la clavette du système Poencin se trouve inutile et avec elle disparaissent les inconvénients signalés plus haut.

Embrayage Audu. — Enfin, on procède également à l'essai d'un nouveau système d'embrayage, imaginé par M. Audu, ouvrier mécanicien aux ateliers de l'administration : l'entraînement est ici obtenu, non plus par l'emboîtement des dents d'un cliquet dans celles d'un rochet, mais par le coincement d'un galet entre deux pièces solidaires, l'une de l'arbre des cames, l'autre de l'axe du volant.

La figure 82 représente le système à l'état de repos : le rochet de l'axe du volant est remplacé par un tambour en acier trempé, T, cylindrique et creux, vissé sur l'axe.

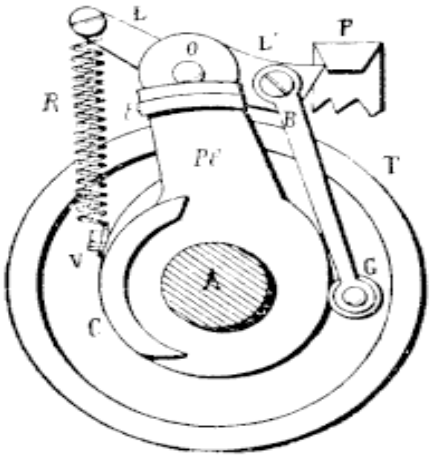


Fig. 82. — Embrayage Audu. Position de repos.

L'arbre des cames, A, est soutenu, comme dans les systèmes précédents, par l'olive de l'axe du volant; en arrière du colimaçon, C, il porte une plaque de détente, Pl, dont le taquet, t, s'appuie comme à l'ordinaire, sur la tête du levier de détente, non représenté sur la figure. A la partie supérieure de la plaque de détente, en O, peut pivoter un levier LL', sur l'extrémité L' duquel est articulé une bielle B; un galet, G, monté à frottement doux sur cette bielle, s'appuie sur la face de droite de la plaque de détente; un ressort à boudin en acier R, fixé par la vis V à la plaque, tend à abaisser la partie de gauche, L, du levier, et à relever, par conséquent, celle de droite; mais cette dernière s'appuyant sur le plan incliné, P, par sa partie terminale, taillée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en arête vive, le levier est soustrait à l'action du ressort R, aussi longtemps que le taquet, *t*, est retenu par l'épaulement du levier de détente.

Dès que ce dernier se dérobe, le levier LL' obéit au ressort R; l'extrémité L', glissant sur la face de gauche du plan incliné (fig. 83), s'élève et entraîne avec elle la bielle B; le galet G vient alors se coincer entre la partie excentrée de la plaque et la paroi intérieure du tambour T, établissant ainsi une liaison entre les deux pièces; or, le tambour T, nous l'avons dit, est monté sur l'axe du volant et tourne avec lui : l'arbre des cames est donc entraîné, la traction exercée par le ressort R ne permettant aucun glissement du galet G.

Le désembrayage aura lieu lorsqu'après une révolution presque complète, l'extrémité L' du levier rencontrera le plan incliné P, qui l'obligera à s'abaisser : le système reviendra à la position de la figure 82, lorsque le taquet *t* rencontrera l'épaulement du levier de détente.

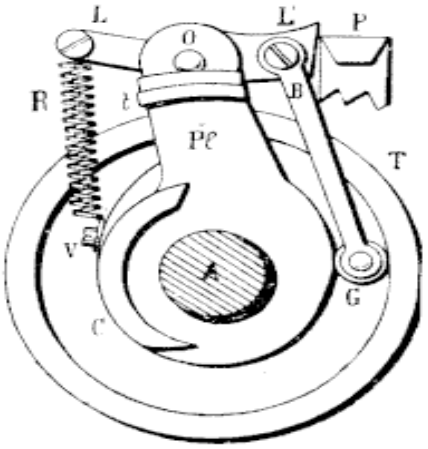


Fig. 83. — Embrayage Audu Entraînement.

Ajoutons que le plan incliné, à cela près de sa forme particulière, est monté comme dans le dispositif ordinaire ; les vis qui le fixent passent dans des trous allongés, permettant de lui donner la position qui convient.

Ce système, encore à l'étude, sera susceptible de modifications ultérieures que pourra suggérer la pratique; nous n'avons eu en vue, en le décrivant ici, que d'en indiquer le principe, d'ailleurs très intéressant.

Déclanchement automatique Terral et Mandroux. — Dans la description sommaire du système Hughes, nous avons indiqué le but et le fonctionnement du déclanchement automatique, grâce auquel le contrôle de la transmission est obtenu au départ, sans le concours de l'électro-aimant. La tige T (fig. 75), articulée sur le levier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de transmission, s'engage, par son extrémité supérieure, dans une sorte de collerette pratiquée sur un bras de levier, *d*, solidaire de l'axe du levier de détente; cette collerette est assez largement fraisée pour que la partie inférieure d'un écrou, *e*, puisse s'y engager avec un jeu latéral appréciable: un contre-écrou, *e'* sert à immobiliser le premier lorsqu'on lui a donné la position convenable. Les déplacements de la partie de droite du levier de transmission seront ainsi communiqués à la tige qui, lorsqu'elle s'abaissera, entraînera avec elle le bras de levier *d*, et fera basculer le levier de détente : l'arbre des cames sera embrayé et une impression sera produite sur la bande, exactement comme si le mouvement provenait d'un soulèvement de l'armature.

Déclanchement Galoché et Poëncin. — Dans ce système, la tige, au lieu de tirer à droite le levier de détente, le soulève à gauche, ce qui aboutit au même résultat. La dite tige, T (fig. 83 bis), est articulée sur le levier de transmission, à gauche du pivot de celui-ci; elle se compose de deux parties : un manchon M, monté sur le levier de transmission, et une tige vissée dans le manchon et immobilisée ensuite par un écrou E. A la partie supérieure de la tige est enfilé et soudé un petit cylindre en acier, C, percé de trous diamétraux, qui permettent de faire tourner facilement la tige T, pour lui donner la hauteur convenable.

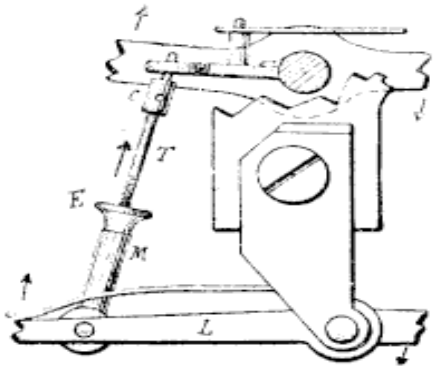


Fig. 83 *bis*.

Sur le levier de détente, on a allongé le petit bras de levier qui soutient le ressort-lame antagoniste du dit levier; cette partie allongée est percée d'un trou oblong, dans lequel s'engage l'extrémité supérieure de la tige T, qui dépasse le cylindre C. Lorsque la partie de gauche du levier de transmission est soulevée, elle entraîne la tige, dont le cylindre vient, à son tour, soulever le bras du levier de détente : celui-ci bascule et l'embrayage s'opère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII

ROUES DES TYPES, DE CORRECTION ET DE FROTTEMENT

Axe de la roue des types. — L'axe de la roue des types, le quatrième et avant-dernier des axes placés horizontalement entre les deux platines de l'appareil, comprend, à partir de la platine d'arrière : une roue dentée R et un pignon, P (fig. 84); le pignon reçoit le mouvement du troisième axe, la roue R le communique au cinquième, l'axe du volant; près de la platine antérieure, une roue d'angle, RA, en fait tourner une autre, montée sur l'axe vertical du chariot.

L'axe de la roue des types se prolonge à l'avant de la platine antérieure, d'une certaine longueur qui supporte encore trois roues; celles-ci, en continuant à compter d'arrière en avant, sont :

La roue de frottement, RF;

La roue de correction, RC;

La roue des types, RT.

A l'encontre des précédentes, qui sont fixées à demeure sur l'axe, ces trois dernières présentent un montage spécial, destiné à répondre à diverses nécessités, que nous pouvons, en attendant de les examiner chacune en particulier, résumer ainsi :

1° La roue des types doit pouvoir se déplacer d'une certaine quantité, par rapport à la roue correctrice, pour permettre l'inversion des lettres aux chiffres et réciproquement;

2° La roue des types et la roue correctrice doivent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pouvoir être avancées ou retardées, par rapport à leur axe, au moment de chaque impression, cela sous l'action de la came correctrice;

3° Les deux mêmes roues doivent être repérées ou « rappelées au blanc » au commencement de chaque période de travail, afin qu'elles partent d'accord avec le chariot du poste correspondant : il est donc indispensable qu'on puisse les immobiliser, pendant que tout le reste de l'appareil est en mouvement.

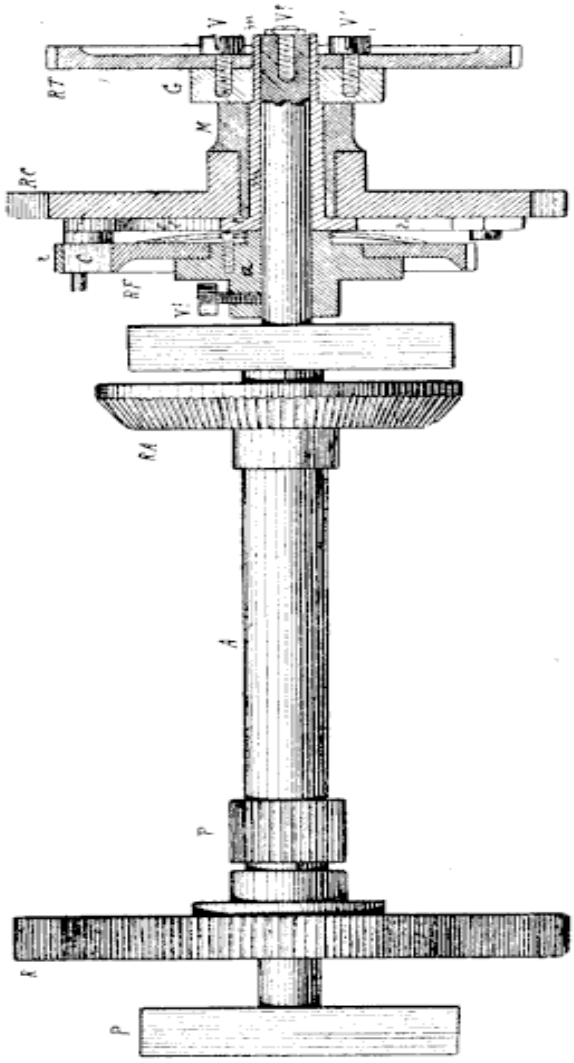


Fig. 84. — Arbre de la roue des types.

Roue des types. — La roue des types, RT (fig. 84 et 85), est constituée par un disque en acier trempé, sur le pourtour duquel sont gravés les caractères. Les lettres y sont disposées dans l'ordre alphabétique, à 1/28 d'intervalle; les chiffres et signes de ponctuation sont intercalés entre les lettres; on a, ainsi, deux séries de caractères, que, par le système d'inversion, on pourra alternativement présenter à l'impression.

La roue des types est donc divisée en 56 parties égales occupées par les deux séries de 26 caractères, et par deux évidements de 2/56 ou 1/28 chacun, correspondant aux « blanc des lettres » et « blanc des chiffres ». Les appareils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

destinés aux relations intérieures comportent, à la place du W, exigible dans le service international, la lettre É. Comme l'accent qui surmonte cette lettre est susceptible de s'user assez vite, relativement aux autres signes, on en a rendu le remplacement facile, grâce à une petite molette, *x*, maintenue derrière la roue des types par une vis et sur le pourtour de laquelle 7 accents sont gravés; cette molette est placée de telle sorte que si, après avoir desserré la vis, on la fait tourner, chacun des accents vient successivement se placer au-dessus de la lettre E : le remplacement d'un accent usé est donc extrêmement simple.

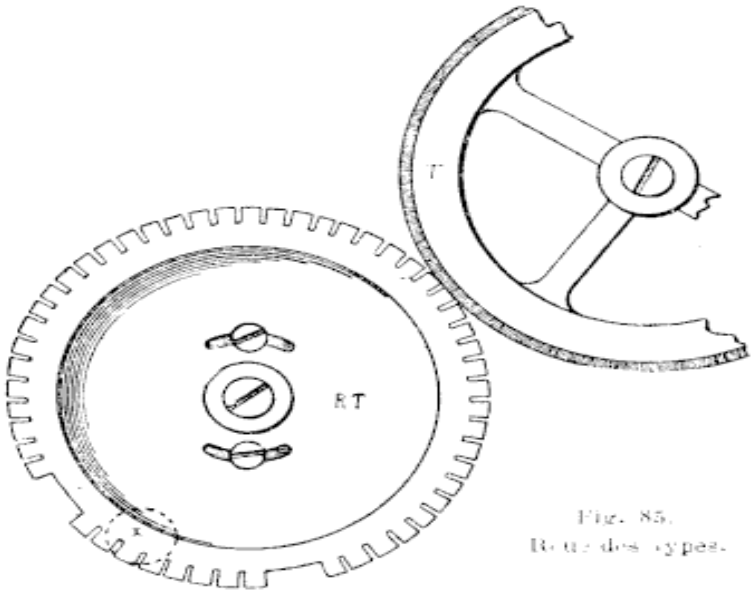


Fig. 85.
Roue des types.

L'empreinte laissée par une roue des types, qu'on ferait rouler de gauche à droite, serait celle-ci :

1A2B3C4D5E6F7G8H9I0J.K,L;M:N?O !P'Q+R-S§ T/U = V blanc des chiffres (W)X&Y"Z blanc des lettres.

La roue des types est encrée au moyen d'un tampon en drap, imbibé d'encre grasse, maintenu dans la gorge d'une roue, T; celle-ci est montée sur un axe coudé, fixé à la platine; un ressort à boudin en laiton agissant sur l'axe fait presser convenablement le tampon sur le pourtour de la roue des types; le mouvement de cette dernière fait tourner le cylindre encreur, dont le tampon roule ainsi sur chacun des caractères qu'il rencontre successivement.

La roue des types est fixée à l'aide de deux vis sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un manchon ou galet en acier, G (fig. 84); les trous dans lesquels passent ces deux vis, V et V', sont étirés, de manière à permettre un certain déplacement de la roue des types par rapport au manchon G, on peut ainsi facilement orienter les caractères par rapport à la roue correctrice qui, comme nous le verrons, guide l'impression, et afin que celle-ci soit bien nette et également appuyée à droite comme à gauche. Le manchon G est goupillé sur un autre, *m*, beaucoup plus long, percé d'un trou cylindrique, qui permet de le placer à frottement très doux sur l'axe de la roue des types.

Roue correctrice. — La roue correctrice, RC, est placée derrière la roue des types. Elle présente sur son pourtour vingt-huit dents (fig. 87). C'est dans les intervalles qui séparent ces dents que s'engagera, à chaque impression, la came correctrice.

La roue correctrice est montée sur un manchon en laiton, M (fig. 84), qui peut recevoir, à sa partie centrale, le petit manchon, *m*, de la roue des types : cette dernière pourra donc se déplacer, par rapport à la roue correctrice, à frottement très doux; le manchon M est, à cet effet, poli à l'intérieur, de même que sur sa face antérieure, qui frotte contre le galet G, solidaire de la roue des types. Ces déplacements possibles sont limités et les deux roues rendues solidaires par le système d'inversion, placé sur la face postérieure de la roue correctrice, et que nous décrirons plus loin.

Les deux roues, ainsi solidarisées, s'enfilent sur l'axe par le manchon *m;* une vis de bout d'axe, V^2, sous la tête de laquelle se serre une petite rondelle de laiton, les empêche de se déplacer ensuite d'arrière en avant.

Derrière la roue correctrice se trouve un cliquet, C (fig. 87), pressé par un ressort, *r*, qui sert, comme nous allons le voir, à l'embrayage avec la roue de frottement.

Roue de frottement. — Cette troisième et dernière roue, RF (fig. 84 et 87), est chargée d'assurer, au moyen d'un embrayage, l'entraînement des deux premières;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais, afin de permettre les rectifications de position qu'effectuera la came correctrice, la roue de frottement, elle non plus, n'est pas fixée à demeure sur l'axe; elle est seulement solidaire de ce dernier par l'intermédiaire d'un montage à frottement assez dur, d'où le nom donné à cette roue qu'on appelle aussi rochet de correction.

Un manchon, *a* (fig. 84), est fixé sur l'axe de la roue des types à l'aide d'une vis de pression, V^1 ; le diamètre de ce manchon est plus grand à sa partie médiane qu'à son extrémité antérieure, de façon à former une sorte d'épaulement dont la coupe serait un angle droit et contre lequel viendra s'appuyer la face d'arrière de la roue de frottement, RF; celle-ci, entaillée à sa partie centrale d'une ouverture circulaire et montée sur le manchon, *a*, sera pressée contre l'épaulement de ce dernier par un ressort bombé, en laiton, *r'*; le ressort est de forme circulaire, fendu suivant trois rayons aboutissant aux trois sommets d'un triangle équilatéral inscrit; ces fentes se prolongent jusqu'à une petite distance du trou circulaire pratiqué au centre pour laisser passer l'axe. Trois vis, traversant ce ressort, s'enfoncent dans l'épaisseur du manchon *a*, sans toucher la roue de frottement, mais il est clair qu'en serrant ces vis, on tendra à redresser le ressort bombé, dont le pourtour viendra s'appuyer d'autant plus fortement contre la roue, très près de la circonférence. Grâce à ce serrage entre l'épaulement du manchon et le ressort bombé, il faudra exercer sur la roue de frottement un effort assez appréciable pour la faire tourner sans l'axe : il y aura donc, entre ces deux pièces, une solidarité suffisante pour que l'entrainement puisse être assuré, tout en permettant à la came correctrice, ainsi que nous le verrons plus loin, d'opérer le décalage des trois roues par rapport à leur axe.

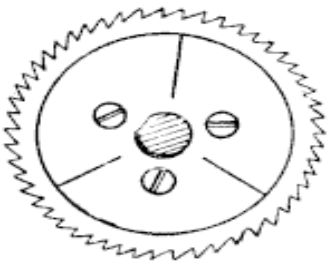


Fig. 86.

La roue de frottement est entaillée, sur son pourtour, de petites dents de rochet, très fines, dirigées dans le sens

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du mouvement, qui est celui des aiguilles d'une montre. L'embrayage avec la roue de correction se fait par l'intermédiaire d'un cliquet, C, placé derrière celle-ci; ce cliquet, articulé en son point d'appui, est pressé par un ressort, *r*, fixé derrière la roue de correction et qui, jusqu'à ces temps derniers, revêtait la forme indiquée par la figure; dans les constructions récentes, on lui a susbtitué un ressort à boudin, en « acier de piano », qui échappe à certains inconvénients que nous signalerons, le moment venu. Ce ressort, quelle que soit sa forme, tend à abaisser l'extrémité du cliquet vers le centre de la roue; le cliquet est garni de dents dirigées en sens inverse de celles du rochet et qui s'emboîteront dans celles-ci lorsque le cliquet sera abandonné à l'action du ressort *r*. L'embrayage sera ainsi opéré et tant que le cliquet ne sera pas arraché à l'emprise des dents de la roue de frottement, les roues de correction et des types seront solidaires de l'axe, qui les entraînera dans son mouvement, comme si elles étaient invariablement fixées à lui.

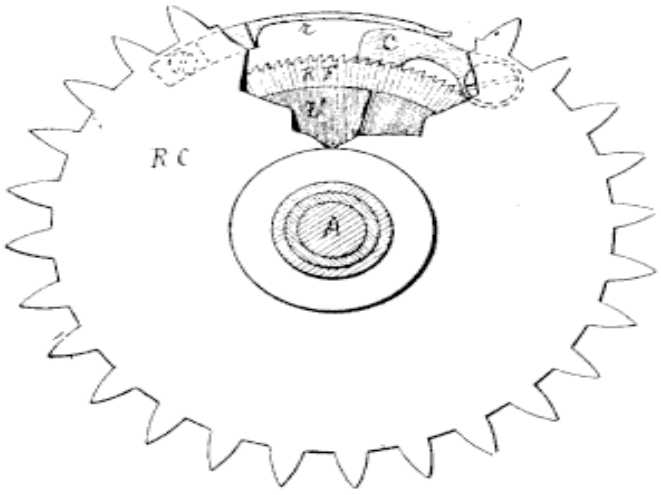


Fig. 87. — Entraînement de la roue correctrice

Nous savons que la came correctrice, au moment où une impression s'effectue, est susceptible d'avancer ou de retarder les roues de correction et des types, suivant que, depuis le précédent déclanchement, elles ont pris du retard ou de l'avance. Dans le premier cas, la roue correctrice étant poussée dans le sens du mouvement, les dents du cliquet glisseront sur celles du rochet, pour venir ensuite se mettre en prise avec d'autres, situées plus en avant. La rectification, dans ce cas, ne pourra pas être inférieure

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'angle occupé sur la circonférence par une dent de la roue de frottement; mais, nous l'avons dit, la denture de celle-ci est très fine et, au-dessous de ce minimum, les écarts peuvent être considérés comme négligeables. Lorsque, au contraire, la roue de correction sera en avance, la came correctrice l'immobilisera momentanément et comme, dans ce cas, les dents du cliquet ne pourront glisser sur celles de la roue de frottement, cette dernière sera, elle aussi, arrêtée : le manchon qui la supporte et le ressort bombé qui la presse tourneront sans l'entraîner, jusqu'à ce que la came correctrice, ayant terminé son action, rende la liberté à tout le système : l'entraînement se rétablira comme précédemment et la rectification subie par les roues des types et de correction sera, cette fois, rigoureusement égale à l'écart qu'il y avait lieu de compenser.

Rappel au blanc. — Les deux roues étant ainsi entraînées par un simple embrayage, il deviendra possible de les repérer par rapport au chariot transmetteur de l'autre poste : pour cela, il suffira de désembrayer et d'immobiliser la roue des types dans des conditions telles que la première émission reçue détermine la mise en marche et la projection du papier dans l'évidement correspondant au blanc des lettres. De cette façon, à la condition que cette première émission ait été provoquée au poste correspondant par la rencontre du chariot avec le goujon « blanc des lettres », les deux organes mobiles, partis en même temps d'un même point et animés de vitesses identiques, réaliseront les conditions indispensables à l'établissement d'un synchronisme.

Ce repérage s'appelle le *rappel au blanc* et la pièce qui l'effectue a reçu le nom de *levier de rappel au blanc*.

La figure 88 nous montre le système lorsque les roues de correction et des types sont embrayées : celles-ci sont vues de face; la figure 89 représente le même système vu de dessus. Le levier de rappel au blanc se compose de trois branches, B, B^1 B^2, solidaires et mobiles autour d'une vis à portée située en O, à leur point de rencontre; l'axe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est encastré dans un coussinet porté par une éminence que présente la platine, derrière la roue de frottement. Les deux branches B et B^2 sont dans le même plan et très près de la platine antérieure; la troisième, B^1, réunie aux deux premières par un manchon en laiton, se déplace dans un plan parallèle et situé entre la roue des types et la roue de correction. La branche supérieure, B, est terminée par un bouton *b*, qui en est tenu éloigné par un ressort à boudin en laiton : c'est sur ce bouton qu'agira le doigt de l'opérateur; la branche B^2 porte, vers sa partie médiane, un petit bras de levier B^3 terminé en biseau et entaillé d'une petite encoche ou gorge; la branche B^1, plus courte que la précédente, se termine par un bec, D, tourné vers la droite.

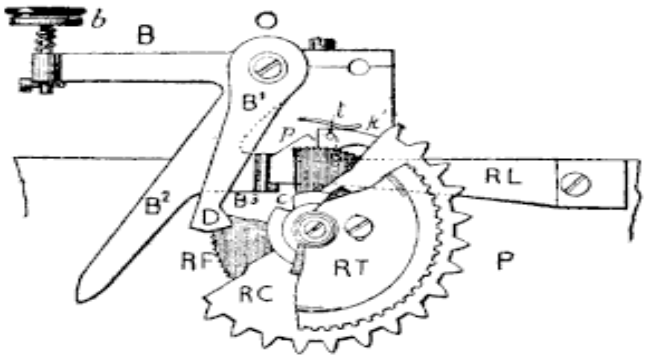


Fig. 88.

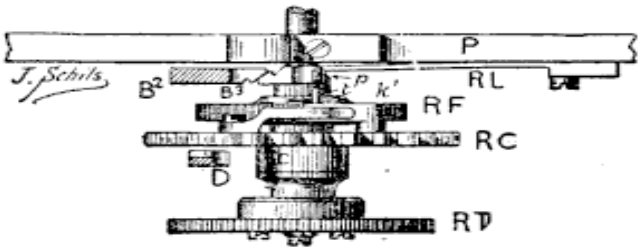
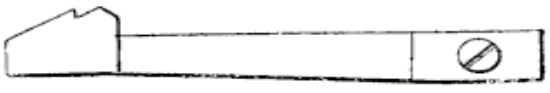


Fig. 89
Rappel au blanc (au repos)

La roue des types, RT, et la roue de correction RC, sont embrayées avec la roue de frottement, RF, dont les dents sont en prise avec celles du cliquet, *k'*, sous l'action du ressort qui presse sur ce dernier. Tout contre la platine, derrière la roue de frottement, se trouve un plan incliné *p*, caché en partie par le cliquet *k'* sur la figure 88 et que nous reportons ci-contre; ce plan incliné présente une face ascendante à gauche; son point culminant est entaillé d'une gorge; sa face descendante de droite est très courte. Il est


Fig. 90. — Plan incliné.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

maintenu très près de la platine antérieure par le ressort-lame, RL, qui le supporte et qui est fixé par une vis à la dite platine.

Si, l'appareil étant en marche, on appuie sur le bouton *b*, le système de leviers bascule autour de son axe, O, le bec D de la branche B¹, vient s'appuyer sur le manchon de la roue correctrice qui limite provisoirement le mouvement du levier de rappel ; la branche B², pendant ce temps, a glissé l'extrémité de son biseau B³ entre la platine et le plan incliné, formant ainsi coin et obligeant le dit plan incliné, grâce à l'élasticité de son ressort RL, à se déplacer d'arrière en avant et à venir se mettre sur le passage du doigt *t*, que porte, à sa partie d'arrière, le cliquet d'embrayage, *k'*. Les roues RT et RC continuant à tourner, le doigt du cliquet rencontrera bientôt la partie gauche du plan incliné, ainsi placé dans son champ de rotation, et sera obligé d'en faire l'ascension : il exécutera donc un mouvement de bas en haut (fig. 90), qui aura pour effet de séparer les dents du cliquet de celles du rochet de frottement. Le doigt du cliquet viendra se loger dans l'encoche qui se trouve au point culminant du plan incliné et il y restera. En effet, au même moment, le doigt D, de la branche B¹, sous lequel le manchon de la roue correctrice a continué jusqu'alors à tourner, le doigt D, disons-nous, va rencontrer une entaille, *c*, pratiquée dans le dit manchon et, sous l'action de la main de l'opérateur, qui presse toujours sur le bouton *b*, s'engagera dans cette entaille, immo-

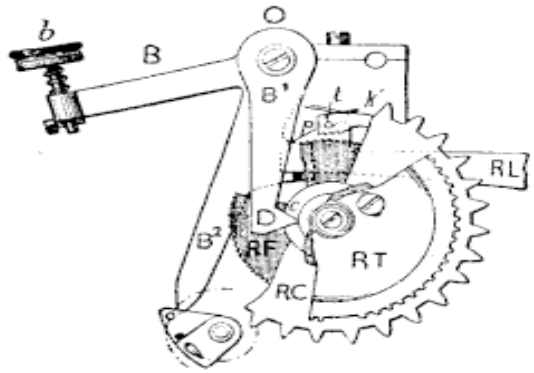


Fig. 91

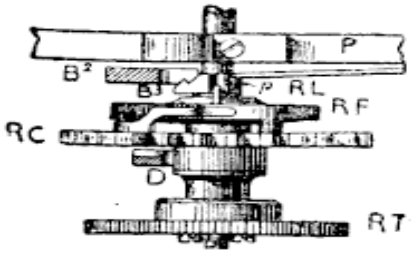


Fig. 92 — Rappel au blanc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bilisant ainsi les deux roues et empêchant que la vitesse acquise permette au doigt du cliquet de franchir le plan incliné et aux dents de retomber de l'autre côté de ce dernier, sur celles de la roue de frottement.

Le déplacement complémentaire, résultant de l'enfoncement du doigt D dans l'entaille *c*, a permis, en outre, au biseau de la branche B^3 de s'insinuer plus avant entre la platine et le plan incliné : une petite dent, taillée sur la surface postérieure de celui-ci, peut alors s'emboîter dans l'encoche du biseau et agrafer, en quelque sorte, ce dernier. La pression exercée par le ressort RL sera alors impuissante à chasser le biseau et aucun embrayage intempestif ne sera susceptible de se produire.

La roue des types étant, avec la roue correctrice, immobilisée, pendant que l'axe continue à tourner à l'intérieur du manchon de la première, l'évidement du « blanc des lettres » se trouvera un peu à droite du bas de la verticale passant par l'âme de l'axe. Nous verrons pourquoi cet évidement n'est pas juste en face la bande de papier. Dès qu'une émission de courant sera reçue dans l'électro-aimant, un déclanchement se produira, qui mettra en mouvement l'arbre des cames. La came correctrice rencontrera sur son passage une dent de la roue correctrice et la poussera devant elle, obligeant ainsi le bec D à sortir de l'entaille *c* du manchon et le doigt du cliquet à abandonner l'encoche du plan incliné pour venir glisser le long de la partie de droite de ce dernier : le cliquet, sous l'action de son ressort, tombera sur la roue de frottement; les dents de l'un s'emboîteront dans celles de l'autre : l'embrayage sera opéré; la roue des types sera, de nouveau entraînée par son axe.

Au moment où la came correctrice s'est trouvée complètement engagée entre la dent sur laquelle elle a agi et la suivante, le papier a été soulevé par la came d'impression et a trouvé devant lui l'évidement du « blanc des lettres », qui, depuis le moment de la rencontre, a pu franchir l'angle qui le séparait de la verticale de l'axe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant le même temps, le biseau de la branche B^3 a quitté la dent du plan incliné; l'extrémité inférieure de la branche B^3 est ensuite rencontrée par la came de dégagement (fig.91), qui la chasse vers la gauche, ramenant ainsi tout le système de leviers à la position de repos indiquée par la figure 88. Il convient de remarquer que, dans la plupart des cas, notamment lorsque l'appareil tourne à une vitesse assez grande, la brutalité avec laquelle la came correctrice pousse la roue suffit pour chasser complètement le levier de rappel jusqu'à sa position de repos, sans le concours de la came de dégagement. Toutefois, si, pour une cause quelconque, insuffisance de vitesse, par exemple, le biseau reste engagé entre le plan incliné et la platine, la dite came l'oblige à se retirer, évitant ainsi qu'au tour suivant le doigt du cliquet puisse rencontrer de nouveau le plan incliné.

Rappel Schils. — Le système de rappel au blanc,

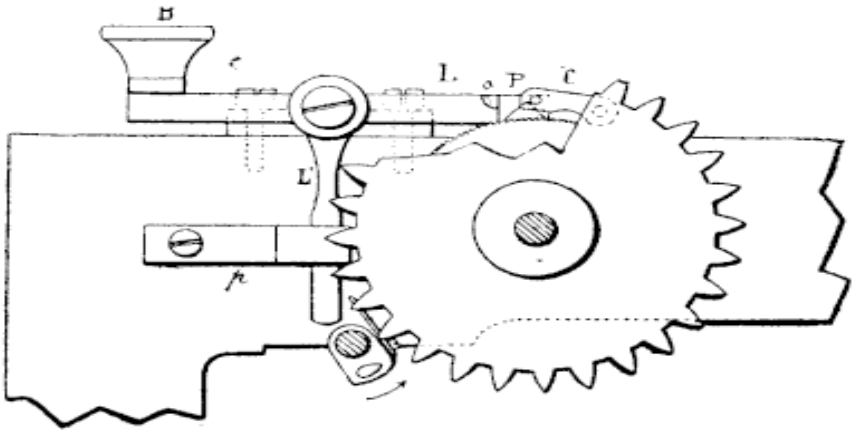


Fig. 93.

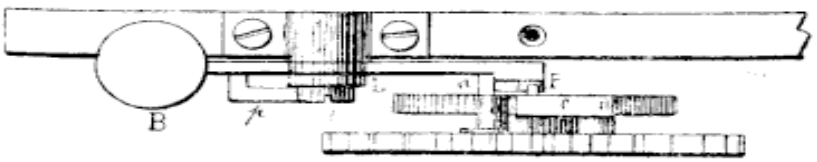


Fig. 94. — Rappel Schils.

que nous venons de décrire, a été simplifié de la façon suivante par M. Schils, Inspecteur à la Direction du Matériel :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

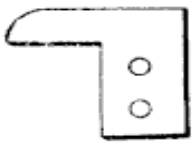
le levier, L, (fig. 93 et 94) porte, à sa partie de droite, le plan incliné, P, de forme triangulaire, comme celui de la détente; lorsqu'on appuie sur le bouton, B, le plan incliné vient se placer sur le passage du doigt du cliquet, C : celui-ci, obligé de le gravir, éloigne le cliquet de la roue de frottement, comme précédemment; au moment où le doigt à franchi l'arête du plan incliné, une pièce en acier, *a*, montée derrière la roue correctrice (visible seulement sur la figure 64, et dont la projection est hachurée sur la figure 63), vient rencontrer un épaulement ménagé à cet effet sur l'extrémité du levier L; les roues de correction et des types sont ainsi calées dans une position parfaitement définie, car le cliquet tendant, sous l'action de son ressort, à glisser le long de la face de droite du plan incliné, il en résulte que la pièce *a* reste appliquée contre l'épaulement et que les roues ne pourraient rétrograder que si on obligeait le doigt à remonter la pente du plan.



Fig. 95.

Lorsqu'on cesse d'appuyer sur le bouton B, la pression exercée par le doigt du cliquet sur le plan tendrait à faire basculer le levier et l'embrayage se ferait aussitôt; l'immobilisation du sytème est assurée comme suit : sur l'axe du levier L, et solidaire de celui-ci, est montée une seconde branche L', constituée par un fort ressort-lame en acier, pouvant se mouvoir entre la platine de l'appareil et un petit pontet, *p*, qui, caché en partie dans la figure 94, est reporté ci-dessus, vu en plan (fig. 95).

Dès qu'on presse le bouton B, le levier L, en se déplaçant, entraîne, de gauche à droite, la branche L'; celle-ci, grâce à son élasticité, se déforme légèrement vers l'arrière, en glissant le long d'un biseau *b*, terminé par une encoche *e* d'une largeur égale à celle de la branche L' : lorsque le mouvement est terminé, cette dernière est venue se loger dans l'encoche et tout retour spontané en arrière est rendu impossible.


Fig. 96.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La came de dégagement est remplacée par une plaquette en acier, x, reproduite ci-dessus en plan (fig. 96). Elle se compose de deux parties, l'une large et percée de deux trous, qui permettent de la fixer, à l'aide de vis, sur la « boîte à cames »; l'autre, étroite et arrondie en quart de cercle à son extrémité. Lors du premier déclanchement et un peu avant que la came correctrice entre en fonction, cette extrémité arrondie de la plaquette rencontre la partie inférieure de la branche L', et, formant coin, l'oblige à fléchir en arrière; la branche L' se trouve dégagée de l'encoche du pontet : le levier L obéit alors à la pression du doigt du cliquet sur le plan incliné, sa partie de droite s'abaisse, celle de gauche se relève et tout le système revient à la position de repos; pendant ce temps, le cliquet est retombé sur la roue de frottement et les roues des types et de correction se mettent en marche.

Il est à remarquer que l'embrayage s'opère ici sans brutalité et, pour ainsi dire, sans l'intervention de la came correctrice, qui ne fait guère que préciser la position des roues au départ : c'est là un avantage appréciable, au point de vue de l'usure de cette pièce.

Grincement. — Avec l'un comme avec l'autre des deux systèmes, si le levier de rappel est actionné avant que l'appareil ait pris sa vitesse de régime, la force acquise peut être impuissante à faire gravir au doigt du cliquet le plan incliné : les dents du cliquet traînent alors sur celles de la roue de frottement, en produisant un grincement analogue à celui dont nous avons parlé pour la détente, mais beaucoup moins aigu et, par suite, facile à distinguer du premier (la différence de ton provient de la différence de vitesse entre le rochet de détente et la roue de frottement). Pour faire cesser ce grincement, qui détériore les pièces en présence, il suffit, avec l'ancien système, de relever le levier de rappel, afin de faire retomber le cliquet, puis de rappeler le nouveau au blanc, lorsqu'on juge la vitesse suffisante. Avec celui de M. Schils, cette manœuvre n'est pas possible à cause de l'immobilisation de la bran-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

che L' dans l'encoche du pontet : on a alors la ressource d'opérer comme pour la détente, c'est-à-dire d'aider le doigt du cliquet à franchir l'arête du plan incliné.

Inversion. — La roue des types étant ainsi repérée au moment de sa mise en marche, les signaux qui suivront seront traduits dans les conditions désirables. Mais nous savons que chacun de ces signaux doit pouvoir, à la volonté du transmetteur, donner lieu à l'impression, soit d'une lettre, soit d'un chiffre. Cette possibilité de doubler le nombre des caractères, par rapport au nombre des goujons, est donnée par le système d'inversion.

Nous avons dit plus haut (v. p. 120) que les caractères, lettres et chiffres, sont alternés sur la roue des types divisée en 56 parties égales. La roue correctrice est entaillée, sur son pourtour, de 28 dents, ou, si l'on préfère, de 56 divisions également, dont 28 en relief et 28 en creux. Si donc l'on superpose la roue des types à la roue correctrice, en faisant coïncider les divisions, deux caractères consécutifs de la première se trouveront, l'un en face d'un creux, l'autre en face d'une dent; autrement dit, comme les lettres et les chiffres sont alternés, l'une des séries, celles des lettres, par exemple, correspondra aux creux et l'autre, celle des chiffres, aux dents de la roue correctrice. Dans ces conditions, si la bande de papier, projetée contre la roue des types, ne peut rencontrer que le caractère placé en face d'un creux, on imprimera des lettres et rien que des lettres, les chiffres, en regard des dents, étant hors d'atteinte lors du soulèvement du papier.

Ceci étant admis, nous voyons que, pour *inverser* la série accessible à l'impression, il suffira de déplacer la roue des types d'un angle égal à 1 /56 de circonférence, par rapport à la roue correctrice : les lettres seront alors en regard des dents, tandis que les chiffres viendront se placer vis-à-vis des creux. Lorsqu'on aura fini d'imprimer des chiffres, un autre déplacement, en sens inverse et de même valeur, rétablira la relation précédente entre les deux roues : la bande enregistrera alors des lettres. Ce décalage sera

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

produit par le soulèvement, au départ, des goujons « blanc des lettres » ou « blanc des chiffres » et, à l'arrivée, par le système inverseur que nous allons décrire.

Nous reportant à la figure 84 (p. 120), nous voyons que la roue correctrice est montée, par son manchon M, à frottement très doux sur le manchon *m* de la roue des types. Ce dernier manchon est solidaire d'un levier à deux branches invisible sur la coupe de la figure 84 et que nous représentons ci-après, vu à travers les roues des types, RT, et de correction, RC (fig. 97 et 98). Ce levier, L L', ajusté sur le manchon de la roue des types, de manière à pouvoir glisser sans frottement contre la surface postérieure de la roue correctrice, est maintenu par l'extrémité triangulaire de sa branche L dans l'une des deux encoches, *e*, ou *e'*, pratiquées dans un bras de levier, CI, ou cliquet d'inversion.

Ce cliquet, mobile autour d'un axe situé en O, fixé sur la roue de correction, est sollicité à se déplacer vers le centre par un ressort courbe, *r*, fixé également au dos de la roue de correction. Le ressort *r* appuie assez énergiquement sur le cliquet, CI, pour que le levier d'inversion LL' soit maintenu solidement et ne puisse être déplacé qu'au prix d'un certain effort. La liaison ainsi établie entre le levier, qui est solidaire de la roue des types, et le cliquet, monté sur la roue de correction, assure l'entraînement de la première par la seconde. La branche opposée L', du levier d'inversion, s'engage dans une ouverture pratiquée à la partie médiane d'une plaque en acier P P' appelée plaque d'inversion. Celle-ci, mobile autour d'une vis V, qui la rend solidaire de la roue correctrice, se termine, à chacune de ses extrémités opposées au centre, par une sorte de dent; enfin, elle est placée de telle façon que, lorsque la branche L' du levier d'inversion est engagée dans son ouverture circulaire, l'une des dents vient obstruer un creux de la roue de correction, tandis que l'autre vient seulement affleurer le fond d'un autre creux. L'un de ceux-ci est celui dans lequel s'engage la came correctrice, lors du déclanchement du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

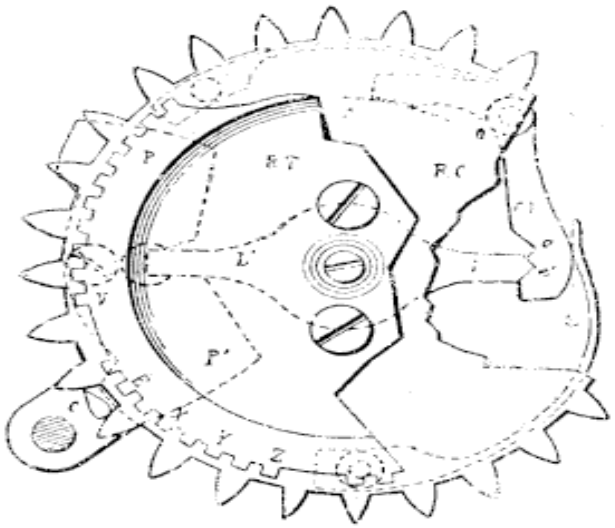


Fig. 97 — Inversion : position des lettres.

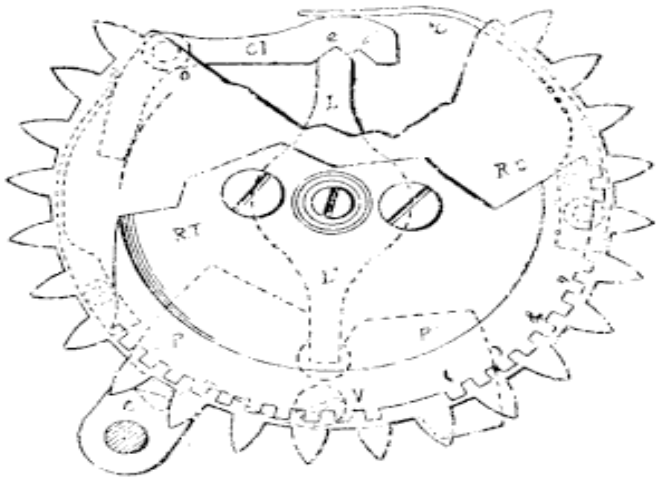


Fig. 98. — Inversion : position des chiffres.

« blanc des lettres »; l'autre est celui qui correspond au « blanc des chiffres ».

La figure 97 nous montre la roue des types dans la position qui correspond à l'impression des lettres : celles-ci se trouvent vis-à-vis des creux, tandis que les chiffres sont en regard des dents de la roue correctrice. La branche L du levier d'inversion est dans l'encoche *e'* du cliquet CI ; la dent P de la plaque obstrue le creux du blanc des chiffres, tandis que celui du blanc des lettres est dégagé. Si, dans ces conditions, on reçoit le signal « blanc des chiffres », la came de correction, C (fig. 98), pour s'engager dans le creux obstrué, va être contrainte à pousser la dent P, qui s'oppose à son passage ; sous cette action, la plaque pivotera autour de sa vis V et la dent P' viendra boucher l'intervalle « blanc des lettres ». La branche L' du levier d'inversion entraînée dans ce mouvement, pivotera également, et la branche L, quittant l'encoche *e'*, soulèvera le cliquet CI, pour venir s'engager dans l'autre encoche, *e*, où elle restera maintenue par le cliquet, rabattu aussitôt sous l'action

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du ressort *r*. Le levier d'inversion, par suite du passage de la came correctrice dans le creux du blanc des chiffres, sera donc déplacé d'un angle égal à celui qui existe entre les deux encoches *e* et *e'* : cet angle équivaut exactement à 1 /56 : de circonférence. La roue des types, solidaire du levier d'inversion, par son manchon, sera décalée, par rapport à la roue de correction, de 1 /56 : les chiffres qui, sur la figure 97, se trouvaient correspondre aux dents de cette dernière, seront (fig. 98) en face des creux et offerts à l'impression. Ils y resteront tant que les intervalles blancs séparant les groupes de signaux seront produits par l'abaissement de la touche « blanc des chiffres ».

Lorsqu'on recevra le signal « blanc des lettres », la came correctrice, trouvant le creux correspondant obstrué par la dent P' de la plaque, la repoussera, faisant pivoter en sens inverse cette dernière et le levier LL'; la branche L quittera l'encoche *e* pour venir en *e'* la roue des types sera décalée de 1 /56 et les lettres reviendront se placer en face des creux de la roue de correction.

Par rapport au mouvement de rotation des roues de correction et des types, le déplacement de cette dernière est de même sens pour passer des chiffres aux lettres et de sens contraire dans l'autre cas.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

IMPRESSION

Mécanisme d'impression et de progression. — Le mécanisme d'impression et de progression est constitué par deux leviers actionnés chacun par l'un des excentriques

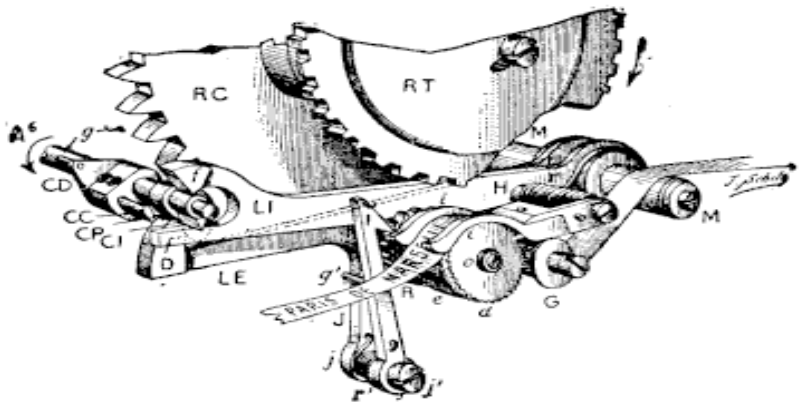


Fig. 99. — Mécanisme d'impression.

que porte l'arbre des cames. Dans la description que nous avons faite plus haut de cet axe (v. p. 107, fig. 74), nous nous sommes surtout occupés de sa partie postérieure, celle où se fait l'embrayage avec l'axe du volant. Nous allons compléter ici la description sommaire de son extrémité antérieure faite à la page 108.

La figure 99 nous montre l'ensemble du mécanisme : l'arbre des cames A est placé à gauche des roues des types, RT, et de correction, RC, un peu au-dessous du rayon qui formerait avec la verticale un angle de 45°; l'extrémité antérieure porte des cames, que nous reproduisions ci-dessous (fig. 100), dégagées des leviers d'impression, LI,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et de progression, LE, que nous décrirons plus loin. Chacune de ces cames a une forme et une position particulières, que nous allons examiner.

Came de dégagement. — La came de dégagement, la première qu'on rencontre en partant de la platine antérieure de l'appareil, est constituée par une petite goupille, CD, (fig. 100), portée par un bras, fixé sur l'axe : elle est dirigée vers l'arrière, son extrémité postérieure, très près de la platine, se meut dans un plan parallèle à celles-ci. Sa fonction consiste à chasser devant elle la branche inférieure du levier de rappel au blanc et à empêcher le biseau de celui-ci de rester engagé entre la platine et le plan incliné, ce qui, nous l'avons dit, pourrait avoir pour effet de désembrayer la roue correctrice après une révolution. Dans les appareils munis du « rappel au blanc Schils », cette goupille est remplacée par une pièce arrondie, en acier, que nous avons décrite en même temps que le dit rappel (v. p. 130).

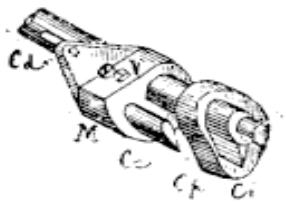


Fig. 100.

Came correctrice. — La came correctrice, CC (fig.99), est en acier fortement trempé; elle est constituée par une languette assez longue, dont la coupe serait celle d'une olive allongée et pointue; cette forme a pour objet de diminuer les chances de rencontres entre la came et l'extrémité des dents de la roue correctrice : son arête étant dirigée en avant, c'est donc par une ligne et non par une surface qu'elle attaque la dent sur laquelle elle agit. Par contre, l'arête s'use relativement vite, malgré la trempe, d'où la nécessité de changer de temps en temps la came.



Fig. 101.

Pour permettre facilement cette opération, il ne fallait pas que la came fût fixée invariablement sur l'axe; elle a été montée de la façon suivante : un manchon M (fig. 101) est percé d'une ouverture qui le traverse de part en part et dont le profil correspond à celui de la coupe de la came; la languette d'acier s'y emboîte facilement et y est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ensuite maintenue à l'aide de deux petites vis de pression (v. aussi fig. 102); elle est assez longue pour dépasser en arrière du manchon M. Lorsque la d'avant, celle qui travaille, a son partie arête émoussée, il suffit de retourner la came bout pour bout et de la fixer de nouveau : une partie neuve est ainsi substituée à celle usagée.

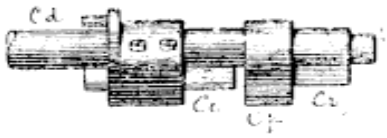


Fig. 102

Lorsque l'axe imprimeur est au repos, la ligne qui le joindrait à l'axe de la roue des types, prolongée à gauche, passerait par le milieu de la section de la came correctrice : elle a donc exactement un demi-tour à accomplir, entre le moment où elle quitte sa position de repos et celui où elle se trouve complètement engagée entre deux dents de la roue correctrice.

Il est à remarquer également que le caractère qui s'imprime, situé dans la verticale de l'axe, n'est pas, par conséquent, celui qui correspond au creux dans lequel s'engage la came correctrice : entre ce dernier et celui qui est dans la verticale,il y a un intervalle de trois autres creux (v. fig.97 et 98) : lorsque la lettre A occupe cette dernière position, c'est la lettre E qui s'imprime.

Les fonctions de la came correctrice peuvent se résumer ainsi :

1° Mise en marche des roues de correction et des types après le rappel au blanc, en provoquant la chute du cliquet sur le rochet de frottement (v. p. 128);

2° Rectification, à chaque impression ultérieure, de la position des deux roues : poussée en avant s'il y a retard, arrêt momentané dans le cas contraire (v. p. 124);

3° Déplacement, le cas échéant, des extrémités de la plaque d'inversion obstruant les creux du « blanc des lettres » ou du « blanc des chiffres » : décalage de la roue des types par rapport à la roue de correction, inversion de la série de caractères, lettres ou chiffres, présentée à l'impression (v. p. 134);

4° Interruption du circuit des bobines de l'électro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aimant au moment où l'arbre des cames se met en marche; cela, afin d'éviter la production d'un courant d'induction, qui, au moment du rappel de l'armature, aurait pour effet de désaimanter les noyaux et d'empêcher l'attraction (v. p. 102). Cette dernière fonction, bien qu'importante, ne rentre pas, à proprement parler, dans les attributions exclusives de la came correctrice : celle-ci n'a été choisie pour cet office qu'à cause de la commodité qu'offrait sa position à l'état de repos.

Came d'impression. — Les fonctions de la came et du levier de progression seront plus faciles à comprendre, lorsque nous aurons décrit le système imprimeur proprement dit : nous laissons donc momentanément de côté ces deux organes pour examiner d'abord la came et ensuite le levier d'impression.

La came d'impression, C*i* (fig. 100 et 102), est située à la partie antérieure de l'axe et devant la came de progression C*p*; elle consiste en un petit prisme en acier, dont les deux faces latérales se coupent en suivant un angle très aigu; vue en bout, elle a l'aspect d'un petit triangle isocèle à base très étroite (fig. 103). A l'état de repos de l'axe, l'arête est dirigée vers le bas et se trouve sensiblement sur la verticale qui passe par l'âme du dit axe : ainsi que nous allons le voir, la came d'impression doit, comme la came correctrice, effectuer un demi-tour entre sa position de repos et le point où elle a fini sa fonction.



Fig. 103.

Levier d'impression. — Le levier d'impression, sur lequel agit la came du même nom, lorsqu'elle est en mouvement, est constitué par une forte lame d'acier, L*i* (fig. 99, p. 136) placé au-dessous et un peu en arrière de la roue des types RT. Son extrémité de droite est terminée par un manchon en laiton M (fig. 104 et 105), qui s'enfile sur l'axe autour duquel il pivote; cet axe, que nous décrirons plus loin, supporte également le levier de progression; une vis de bout d'axe, sous la tête de laquelle est serrée une rondelle, empêche les manchons de ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux leviers de se déplacer longitudinalement. L'extrémité de gauche du levier d'impression se termine par une sorte de fourchette, dont la branche inférieure est rectiligne, tandis que l'autre est taillée en forme de bec, *b*. C'est entre les deux branches de cette fourchette que se déplace la came d'impression C*i*. A l'état de repos, le bec du levier d'impression s'appuie sur l'arbre des cames, en un point diamétralement opposé à la came qui doit le commander.

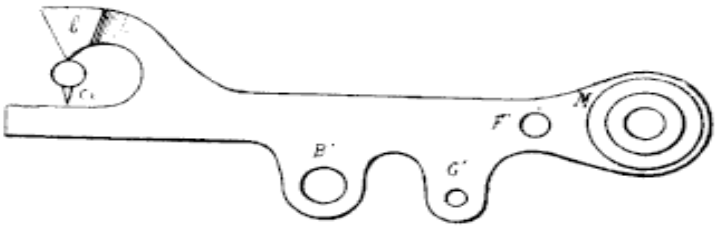


Fig. 104. — Levier d'impression.

A la partie médiane, se trouvent deux renflements demi-circulaires, B' et G', percés chacun d'un trou et, entre le dernier G' et le manchon M, un troisième trou F' se trouve dans le corps même du levier d'impression. Le premier de ces trous est destiné à recevoir l'axe du cylindre imprimeur ou barillet, B (fig. 105). Le barillet se compose d'un cylindre creux, dont les deux bases sont fermées par de petites molettes, *m* et *m'* hérissées, sur leur pourtour, de deux rangées de petites dents très fines et très aiguës, qui serviront à assurer la progression du papier, en empêchant tout glissement de celui-ci sur le barillet. La partie comprise entre les molettes *m m'* est garnie d'une petite couche de gutta-percha : c'est sur ce coussin élastique que se fera l'impression, à la partie médiane de la bande de papier, dont les bords reposeront sur les dents des molettes.

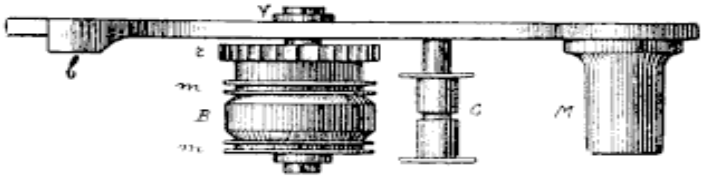


Fig. 105. — Levier d'impression.

Tout à fait derrière le barillet et solidaire de celui-ci, est fixée une petite roue à rochet, *r*, dont les dents se trouvent dirigées en sens inverse du mouvement du barillet, ce mouvement s'opérant dans le sens opposé à celui des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aiguilles d'une montre. Ce rochet, actionné par un cliquet porté par le levier de progression, servira à l'avancement du papier après chaque impression.

Les deux molettes, le cylindre et le rochet forment une seule pièce très légère et très libre sur son axe; celui-ci est monté dans le trou B' du levier d'impression (fig. 104) et est maintenu par derrière au moyen d'une vis et d'une rondelle, V (fig. 105), la vis taraudant dans l'axe.

Le trou percé dans le second renflement, G' (fig. 104) du levier d'impression est taraudé, afin de recevoir l'extrémité filetée d'un petit axe en acier, qui supporte le guide-papier G (fig. 105). Celui-ci affecte la forme d'une carcasse de bobine, dont le noyau, coupé en deux parties indépendantes, permet de donner aux joues l'écartement qui correspond à la largeur de la bande à guider. Les deux demi-carcasses sont, en outre, montées à frottement moyen sur l'axe, ce qui, tout en permettant leur déplacement, le cas échéant, assure leur stabilité, dès qu'on leur a donné la position qui convient le mieux.

Enfin, le trou F' (fig. 104) est destiné à recevoir l'axe d'un presse-papier, qui doit tendre la bande sur le barillet, pour assurer la netteté de l'impression et permettre aux dents des molettes *m* et *m'* d'en piquer suffisamment les bords pour que la progression se fasse dans de bonnes conditions. Ce presse-papier consiste en une fourchette, F (fig 106), en ivoire, dont les deux branches sont courbées de manière à épouser, sur une longueur d'une douzaine de millimètres, la forme circulaire du barillet; ses deux branches sont suffisamment écartées pour que la partie médiane de la bande de papier, qui repose sur l'anneau de gutta-percha, soit à découvert et puisse venir au contact de la roue des types pour recevoir l'impression.

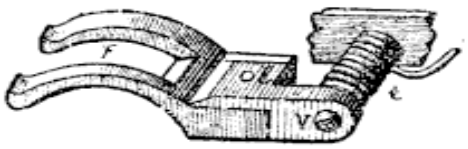


Fig. 106. — Fourchette.

La fourchette est goupillée sur un bras de levier en laiton, *ℓ*, solidaire d'un manchon de même métal, qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'enfile sur l'axe et y est maintenu à l'aide d'une vis, V, et d'une rondelle serrée sous la tête de celle-ci.

Une autre vis, taraudant dans l'extrémité opposée de l'axe, le fixe après le levier d'impression; enfin, un ressort à boudin en acier, *r*, tend à abaisser la fourchette vers le centre du barillet, assurant ainsi la pression convenable de la bande de papier sur les dents des molettes.

La figure 99 (p. 136) nous montre le trajet de la bande : venant du rouet, monté tout à fait à droite, elle passe d'abord sur le manchon du levier d'impression, redescend sous l'axe de la fourchette pour s'appuyer sur le guide, dont les joues lui interdisent tout déplacement latéral, puis, remontant, s'engage entre le barillet et la fourchette, pour sortir enfin, à gauche, dans une rigole en laiton (non représentée sur la fig. 99), qui la conduit à la table, placée à gauche de l'appareil, et où se tient l'employé chargé de coller les bandes de réception sur les formules de télégrammes.

Sans entrer, pour le moment, dans le détail du fonctionnement de ce système, que nous examinerons plus loin, on voit que c'est au moment où la came d impression et le levier se trouveront bec à bec, que le barillet, soulevé, viendra appliquer la bande contre le caractère situé sur la verticale passant par l'axe de la roue des types et aussi par celui du barillet : les deux surfaces cylindriques seront tangentes pendant un temps très court; en effet, si l'on considère, d'une part, le peu d'espace occupé par la came d'impression sur son axe, d'autre part, la vitesse de rotation de ce dernier, sept fois plus grande que celle de la roue des types, on voit que le contact durera à peine 1/100 de seconde et ne gênera en rien le mouvement de la roue des types; en outre, l'empreinte sera aussi nette que si le caractère était immobile : c'est ce qu'on a pu justement appeler l'*impression au vol*, qui constitue une des caractéristiques du Hughes, par comparaison avec les appareils imprimeurs qui l'ont précédé.

Le mouvement ascensionnel du barillet est limité,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grâce à la branche horizontale de la fourche du levier d'impression : celle-ci, à l'état de repos, se trouve très près de l'extrémité acérée de la came d'impression, sans toutefois la toucher; au moment du soulèvement, la vitesse acquise tendrait à faire sauter le barillet bien plus haut que l'arête de la came; il en résulterait un écrasement de l'anneau de gutta-percha contre le caractère à imprimer; de plus, lors du déclanchement des blancs, le papier, projeté dans l'évidement, viendrait au contact du fond de celui-ci et on aurait une bavure à la place d'un espace blanc. Le peu de jeu laissé entre la came d'impression et la branche horizontale de la fourche du levier évite ce double inconvénient en ne permettant pas au barillet un mouvement de beaucoup supérieur à celui que lui communique la came.

Dans le but d'assurer mieux encore la netteté de l'impression, en permettant la descente rapide du levier, la tête de celui-ci rencontre, un peu avant l'impression (fig. 107) l'extrémité d'un petit ressort en acier, *r*, qui fléchit sous la poussée, mais renvoie la tête dès que l'arête vive de la came d'impression a abandonné celle du bec du levier, facilitant ainsi le rapide changement de sens du mouvement alternatif accompli à chaque impression : le caractère ne peut alors traîner sur la bande comme cela serait possible si, après avoir été brutalement lancé de bas en haut, le levier devait retomber sous la seule action de son propre poids. L'effet de ce ressort, ainsi que nous le verrons plus loin, est surtout avantageux lorsque les arêtes de la came et du levier sont arrondies par l'usure; tant que les pièces sont neuves, il ne joue qu'un rôle secondaire; il est monté sur l'équerre en laiton qui soutient l'extrémité antérieure de l'arbre des cames; sa tension est réglée par l'enfon-

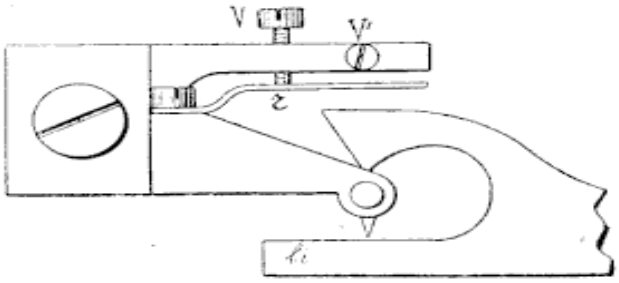


Fig. 107.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cement plus ou moin grand d'une vis, V, munie d'une contre-vis, V' : la branche qui supporte la première est fendue d'un trait de scie, dont la seconde tend à rapprocher les bords : il suffit donc de serrer cette dernière pour bloquer l'autre en un point quelconque de sa course.

Axe du levier d'impression. — Le bec du levier d'impression s'appuyant, à l'état de repos, sur l'arbre des cames et, d'autre part, l'axe du barillet étant fixé invariablement sur le levier, la distance au repos, ou, pour parler plus exactement, le degré d'appui du barillet à l'impression, par rapport à la roue des types, ne pouvait se régler que par la hauteur de l'axe du levier d'impression. C'est pourquoi celui-ci n'est pas emboîté, comme tous les autres, dans la platine qui le supporte, mais engagé dans une sorte de glissière *gg'* (fig. 108) qui permet de le déplacer dans le sens vertical.

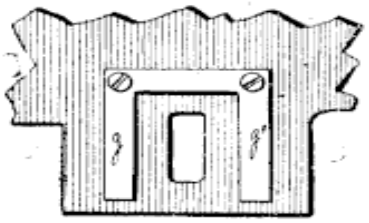


Fig. 108. — Glissière.

La glissière proprement dite présente juste, comme écartement de ses branches, la dimension de l'épaulement *e*, de l'axe (fig. 109). Le trou qui traverse la platine est allongé dans le sens vertical; enfin, une vis, V, serrant sous sa tête une rondelle en laiton, R, taraude dans le bout de l'axe, qui est immobilisé dès que la vis, V, est bloquée. Il suffit de desserrer la vis pour que l'axe

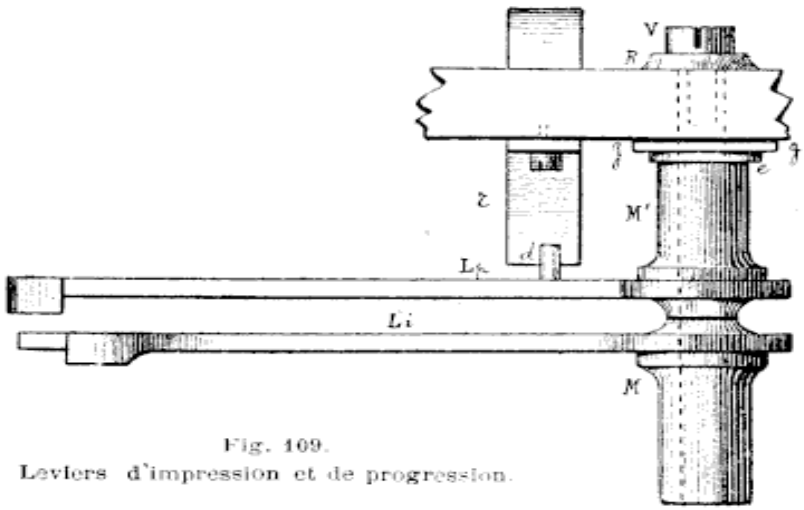


Fig. 109.
Leviers d'impression et de progression.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

redevienne libre dans la glissière et puisse être placé à la hauteur qui convient.

Came de progression. — La came de progression est montée sur l'arbre entre les cames de correction et d'impression. Son périmètre (fig. 110) peut se décomposer en trois parties, la première *ba*, concentrique à l'axe de rotation; la seconde, *ac*, excentrique, c'est-à-dire dont tous les points, en partant de *a*, sont de plus en plus distants de l'axe, le point *c* étant, par conséquent, le plus excentré de toute la came; enfin, la troisième, *cb*, rectiligne : tous ses points, en partant de *c*, vont en se rapprochant de plus en plus du centre, jusqu'au point *b*, qui est, de même que tous ceux compris entre *b* et *a*, le plus rapproché.



Fig. 110

Levier de progression. — Le levier de progression, L*p* (fig. 109), est placé derrière le levier d'impression; il est monté sur le même axe que celui-ci, par l'intermédiaire d'un manchon en laiton, M', semblable à celui de l'autre levier, mais adapté sur la face d'arrière : les deux leviers sont donc très près l'un de l'autre; les manchons sont prolongés par une collerette arrondie qui émerge un peu sur la face opposée : l'écartement normal entre eux est ainsi assuré et le frottement des manchons l'un sur l'autre se trouve réduit au minimum. L'extrémité de gauche du levier de progression se termine par un bec arrondi, *b* (fig. 111), un appendice vertical, *a*, porte, articulé à son extrémité, un bras de levier terminé par une dent, *c*, et qu'on appelle « cliquet à ressaut »; un res-

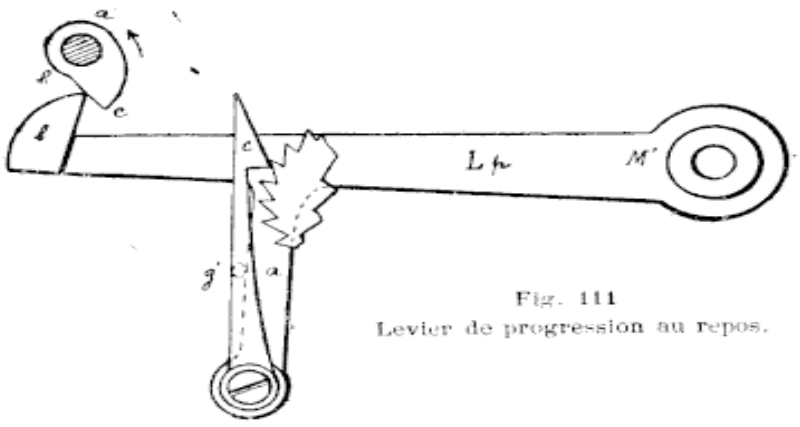


Fig. 111
Levier de progression au repos.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sort à boudin, en laiton, visible sur la figure 99, tend à déplacer le cliquet vers la droite, tandis qu'une goupille, *g*, montée sur le cliquet et s'appuyant sur l'appendice vertical, limite ce mouvement du cliquet.

A l'état de repos, le bec ou dent du levier de progression s'appuie sur la partie rectiligne de la came placée au-dessus de lui; il est soutenu par un ressort, *r* (fig. 109), qui tend à soulever un petit doigt, *d*, monté sur le levier; ce ressort, en acier, est en forme d'U (fig. 112), très énergique et fixé à la platine antérieure à l'aide d'une vis, V, derrière la roue de frottement. Ainsi soulevé par son ressort, le levier de progression appuie sur la came et tend à la faire tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre. Cette action que nous avons mentionnée à la page 109, concourt, avec la situation du centre de gravité de la plaque d'échappement et la pression du ressort courbe du cliquet, à faire basculer l'arbre des cames, dès que l'épaulement du levier de détente se dérobe au taquet. De même, elle aiderait au désembrayage, à la fin de la révolution, en cas d'insuffisance de la vitesse du taquet et du doigt du cliquet de détente.

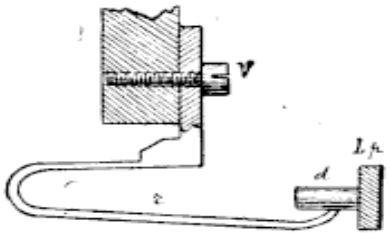


Fig. 112. — Ressort en U.

Le bec du levier de progression, ainsi appliqué contre la came, s'élèvera ou s'abaissera, pendant le mouvement de celle-ci, suivant le degré d'excentricité des points qu'elle lui présentera successivement. Le cliquet à ressaut, agissant sur les dents du rochet que porte le barillet d'impression, fera tourner celui-ci, qui entraînera la bande de papier dans son propre mouvement.

Fonctionnement du mécanisme récepteur. — Nous pouvons maintenant analyser les différentes fonctions successives, remplies par les cames pendant une révolution de leur arbre.

Supposons d'abord les roues des types et de correction immobilisées par le rappel au blanc : un courant reçu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la ligne désaimante les noyaux de l'électro-aimant et permet à l'armature de venir, sous l'action de ses ressorts, buter contre la vis de réglage du levier de détente; celui-ci, soulevé à gauche s'abaisse à droite, dérobant l'épaulement à l'appui du taquet : ce dernier passe par-dessus (sous les diverses actions que nous avons mentionnées en leur temps) le doigt du cliquet de détente glisse le long du plan incliné et ses dents viennent se mettre en prise avec celles du rochet, solidaire de l'arbre du volant; l'axe des cames est embrayé et va tourner avec une vitesse sept fois plus grande que celle de la roue des types.

Le premier mouvement, celui pendant lequel la plaque d'échappement a basculé, a déterminé un léger déplacement des cames, mais aucune d'elles n'est encore dans sa position de travail; seule, la came de progression a présenté au bec du levier qu'elle commande un rayon plus petit que celui sur lequel avait lieu l'appui au repos; le levier a donc pu s'élever légèrement, sous l'action de son ressort en U, et la dent de son cliquet, qui se trouvait très près de l'arête d'une des dents du rochet de progression, a dépassé cette arête et, poussée par son ressort à boudin, est venue s'enfoncer dans le creux au-dessus : elle agrafe maintenant la dent sur laquelle, tout à l'heure, elle s'appuyait seulement et l'obligera à suivre son mouvement lorsqu'elle-même sera contrainte de s'abaisser. Mais, pour le moment, c'est la partie concentrique, *ba*, de la came, qui passe devant le bec du levier : le système reste dans cette position d'attente.

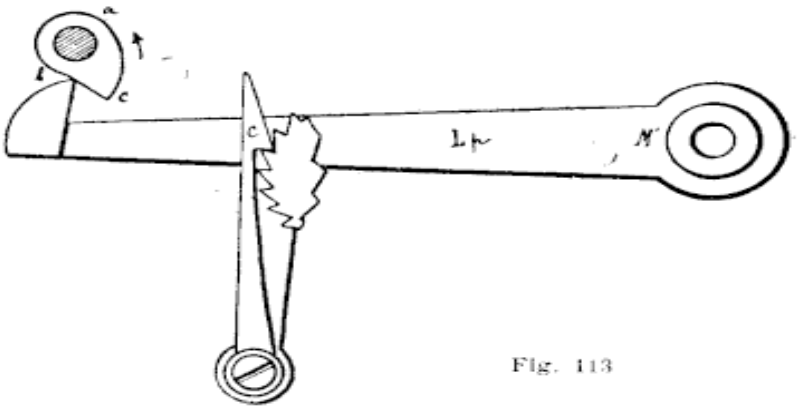


Fig. 113

Bientôt, après un tiers de tour environ, l'arête de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

came correctrice rencontre une dent immobile de la roue de correction (v. p. 124), la pousse devant elle et rétablit l'embrayage de cette roue avec la roue de frottement; la came correctrice s'engage complètement dans le creux qui lui est offert, comme le ferait une dent d'engrenage, empêchant ainsi la roue de correction de sauter sous la poussée brusque et assurant le repérage exact. Lorsque cette fonction s'effectue, l'arbre des cames a fait exactement un demi tour et le « blanc des lettres » se trouve au bas de la verticale qui passe par l'axe de la roue des types.

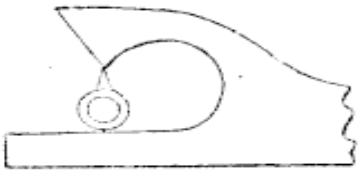


Fig. 114.

Au moment où l'arête de la came correctrice a buté contre la dent de la roue, la base de la came d'impression a rencontré l'extrémité acérée du bec du levier d'impression (fig. 114). Celui-ci a été soulevé, en glissant le long de l'arête de la came; au moment même où la came de correction est complètement engagée dans le creux de la roue correctrice, la came et le levier d'impression se trouvent bec à bec : le barillet d'impression est, à ce moment, projeté dans l'évidement « blanc des lettres » de la roue des types; mais si, comme cela se produira lors des déclanchements ultérieurs, un caractère se trouvait gravé à cet endroit de la roue, il serait imprimé *au vol* (v. p. 142). La coïncidence exacte de l'action de la came correctrice avec celle de la came d'impression empêche que la roue des types vacille sous le choc, comme cela se produit lorsque la came correctrice, usée, ne maintient plus les deux dents entre lesquelles elle est calée : l'empreinte est alors brouillée et le seul remède est de changer la came correctrice.

A l'instant même où la came et le levier d'impression se trouvent bec à bec, la came de progression qui, jusque là, avait glissé par sa partie concentrique sur le bec de son levier, présente à celui-ci le commencement de sa partie excentrée, *ac* : le levier va s'abaisser progressivement, entraînant, avec sa dent de cliquet à ressaut, celle sur laquelle il s'appuie : le barillet va donc commencer à tour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ner au moment où le papier doit s'éloigner de la roue des types; ce mouvement va concourir à assurer la netteté de l'impression en faisant, en quelque sorte, rouler le papier sur le caractère (la roue des types tournant dans le sens des aiguilles d'une montre et le barillet en sens inverse). Le ressort qui presse sur la tête du levier d'impression, ainsi que la pesanteur de celui-ci, auront le temps d'amortir la vitesse acquise de bas en haut et de mettre le levier d'impression en mouvement de haut en bas.

La came de progression, pendant le troisième quart de tour, présentant au levier de progression des points de plus en plus excentrés, celui-ci est refoulé de haut en bas : le rochet du barillet, entraîné par le cliquet, tourne et, avec lui, les molettes dentées, qui obligent le papier à suivre le mouvement ; le point du barillet, où aura lieu la prochaine impression, se recouvre d'une partie vierge.

Pendant ce temps, la came correctrice quitte le creux dans lequel elle s'était engagée au moment de l'impression.

La came de dégagement rencontre alors la branche inférieure du levier de rappel au blanc et ramène tout le système au repos.

Dès que la partie excentrée de la came de progression a fini de refouler son levier, le rôle des cames est terminé ; le colimaçon a rappelé l'armature de l'électro-aimant au contact des noyaux : le désembrayage de l'arbre des cames va s'opérer sous la double action de la vitesse acquise et de la pression exercée par le bec du levier de progression sur la partie rectiligne de sa came. Pendant cette dernière phase de la course, le dit levier de progression remonte le long de la partie rectiligne de la came et le bec du cliquet vient se placer, comme l'indique la fig. 111, très près de la partie supérieure de la dent qu'il accrochera au prochain déclanchement.

Notons enfin que la came correctrice, qui avait abandonné le ressort sur lequel elle presse à l'état de repos, remet les bobines en communication avec la ligne.

L'arbre des cames, désembrayé, reste au repos jusqu'à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce que l'armature soit, de nouveau, soulevée. Toutes ces fonctions, si longues à décrire, même sous la forme la plus concise, se sont toutes effectuées dans l'espace de... 1 /14 de seconde, environ !

En résumé, le jeu des diverses cames se fait dans l'ordre et de la façon suivante : la came correctrice agit la première, soit pour mettre en marche la roue correctrice, soit, si celle-ci est déjà en mouvement, pour rectifier sa position; dans un cas comme dans l'autre, elle s'engage entre deux dents pour caler la roue des types au moment de l'impression.

La came d'impression entre en jeu lorsque la précédente a rempli son office et projette le barillet contre la roue des types pendant le calage momentané de cette dernière.

La came de progression refoule aussitôt son levier qui, par l'intermédiaire du cliquet à ressaut, fait tourner le barillet et avancer le papier.

Enfin, la came de dégagement chasse, le cas échéant, le levier de rappel au blanc.

Il est à remarquer qu'aucune came ne travaille, ni pendant le premier ni pendant le dernier quart de la révolution; de plus, à partir du moment où la came correctrice entre en jeu, le travail de chacune des autres se succède et n'a pas lieu simultanément : cette double circonstance a pour avantage principal de graduer l'augmentation de résistances passives, résultant de l'entrée en fonctions de pièces précédemment au repos, ce qui facilite grandement la compensation demandée, à ce moment, au régulateur. La même graduation se fera, en décroissant, à la fin du tour : la came de progression ayant terminé son rôle, une fois sa partie excentrique passée sur le bec du levier, celui-ci pressera contre la came et non seulement n'engendrera plus de résistance, mais même exercera une action qui tendrait à accentuer le mouvement. (Nous avons noté plus haut que cette denière action favorise également le désembrayage.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Netteté de l'impression. — Nous avons mentionné, chemin faisant, les diverses circonstances grâce auxquelles l'empreinte du caractère sera nette sur la bande; elles peuvent se résumer ainsi :

1° Extrême rapidité du soulèvement du barillet, réalisant l'*impression au vol*;

2° Limitation du mouvement ascensionnel du levier par la branche horizontale de sa fourche;

3° Amortissement de la vitesse acquise par le petit ressort qui agit sur la tête du levier d'impression. Ce rôle est important lorsque, par suite d'un long usage, l'arête de la came d'impression est arrondie et celle de la dent du levier creusée, comme l'indique la figure 115. Le jeu entre la branche horizontale et l'axe, très minime lorsque l'appareil est neuf, se trouve considérablement agrandi et tout le rôle dévolu à cette branche incombe alors au ressort, dont le bon réglage devient, dans ce cas, extrêmement important;

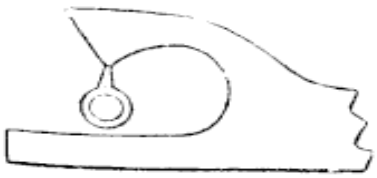


Fig. 115.

4° Enfin, la netteté de l'impression est encore assurée par le mouvement de rotation donné au barillet, au moment même où le choc vient d'avoir lieu, par la came de progression, qui agit sur le levier et fait tourner le barillet pendant qu'il redescend vers la position de repos.

Impression Guénaire. — L'impression, telle qu'elle vient d'être décrite, est parfois difficile à régler, notamment lorsque, par suite d'usure de l'olive de l'axe du volant, l'arbre des cames bascule pendant sa révolution : rappelons que c'est une des raisons qui ont motivé la proposition faite par M. Hilten, de remplacer le point d'appui pris sur la dite olive par celui d'un palier ordinaire (v. p. 112). M. Guénaire, agent mécanicien à la Vérification du Matériel, a cherché à stabiliser le réglage en modifiant le système d'impression, de façon à le soustraire complètement à la cause de perturbation que nous venons d'indiquer.

Tout le mécanisme nouveau est porté sur une platine, P,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(fig. 116), fixée par un pontet à celle de l'appareil, et placée entre les roues des types, RT, et de correction, RC. Il se compose de deux parties essentielles : celle de droite qui porte le barillet, B, d'impression; celle de gauche, qui fera mouvoir la première.

La partie de droite comprend un levier à deux branches, formant entre elles un angle droit, l'une horizontale, L, mobile autour d'un axe situé en O, l'autre verticale, L', portant le barillet B. Celui-ci est constitué par un cylindre de liège, très libre sur son axe; afin de permettre un réglage

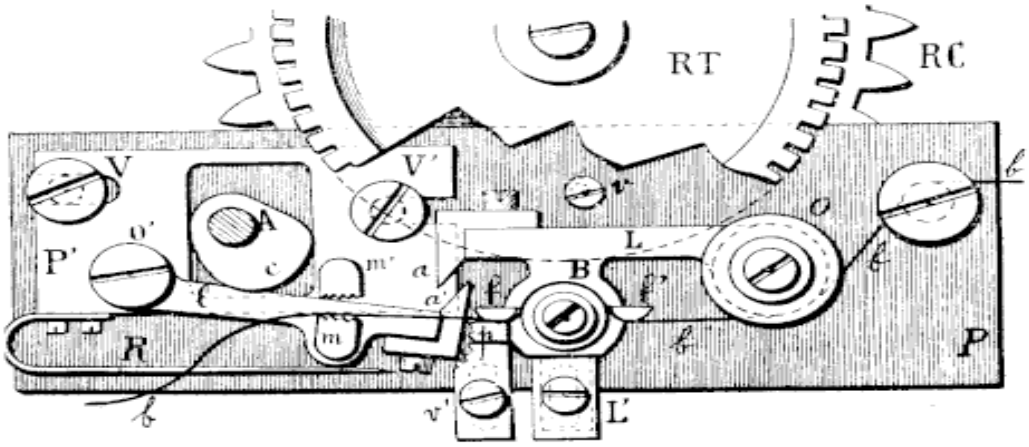


Fig. 116. — Dispositif Guénaire au repos

rigoureux de l'appui sur les caractères de la roue des types, l'axe du barillet est fixé sur une pièce en laiton, montée elle-même sur la branche L' à l'aide d'une vis, dont la tige passe dans un trou allongé; la bande de papier, *b*, est appliquée sur le barillet par une fourchette, dont les deux branches, *f*, *f'*, se voient en bout sur la figure 116, et sont solidaires de la pièce en laiton qui porte le barillet.

A l'extrémité gauche de la branche L, est fixée une sorte d'équerre en acier trempé, terminée à sa partie inférieure en arête vive, *a*; enfin, une vis, *v*, limite le jeu de bas en haut du levier L; la tête de cette vis est excentrique, afin que la butée soit réglable; un contre-écrou carré permet de la fixer lorsqu'on a défini sa position; le jeu de haut en bas est limité à son tour par un petit plateau, *p*, sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel passe la bande au sortir de la branche, *f*, de la fourchette, qui appuie sur ce plateau ; celui-ci est, lui-même, réglable par la vis, *v'*, qui le fixe à la platine P, passant, comme la précédente, dans des trous allongés. Un ressort à boudin, enroulé autour de l'axe, O, maintient le levier L dans la position de repos indiquée par la figure.

La partie de gauche du système comprend une plaque en acier, P', mobile latéralement, grâce à deux glissières guidées par les vis V et V' ; vers la gauche est articulé, en O', un bras du levier, *l*, portant, vers son point milieu, une pièce dentelée ou mâchoire, *m*, destinée à pincer la bande, au moment de la progression, contre une autre mâchoire fixe, *m'*, montée sur la platine mobile, P' ; à l'extrémité droite, le levier *l* est terminé par un bec, taillé en arête vive, *a'*, comme le bec *a*, en face et à une petite distance duquel il se trouve à l'état de repos.

Le bras du levier, *l*, est sollicité à se soulever par un fort ressort en acier, R, recourbé en U, dont une extrémité est fixée, à l'aide de deux vis, sous la tranche de la platine mobile P', et dont l'autre s'appuie de bas en haut sous le renflement qui porte la mâchoire *m* ; lorsque tout est au repos, le levier est soustrait à l'action du ressort par l'appui qu'il trouve sur la partie inférieure d'une came *c*, montée sur l'arbre des cames A ; celle-ci, peut se mouvoir dans une fenêtre pratiquée dans la platine P'.

Fonctionnement. — Dès que l'arbre des cames se met en mouvement, la came *c*, tournant en sens inverse des aiguilles d'une montre, présente bientôt au levier *l*, son plus petit rayon (fig. 117) : le levier obéit alors à l'action de son ressort, R, et se soulève. Dans ce mouvement, la mâchoire mobile, *m*, vient presser la bande contre la mâchoire fixe, *m'* (qui est entaillée à l'arrière, de manière à permettre le mouvement du levier *l*) ; en même temps, le bec *a'* vient se placer tout près du bec *a*.

Les pièces en présence restent dans cette position d'attente jusqu'à ce que la partie excentrée de la came *c* rencontre la paroi de gauche de la fenêtre : à ce moment,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la platine P' est poussée horizontalement vers la gauche; la bande, pressée entre les deux mâchoires *m* et *m'*, est entraînée et, par sa pression sur le barillet B, le fait tourner; pendant ce temps, le bec *a'* soulève le bec *a* et, avec lui,

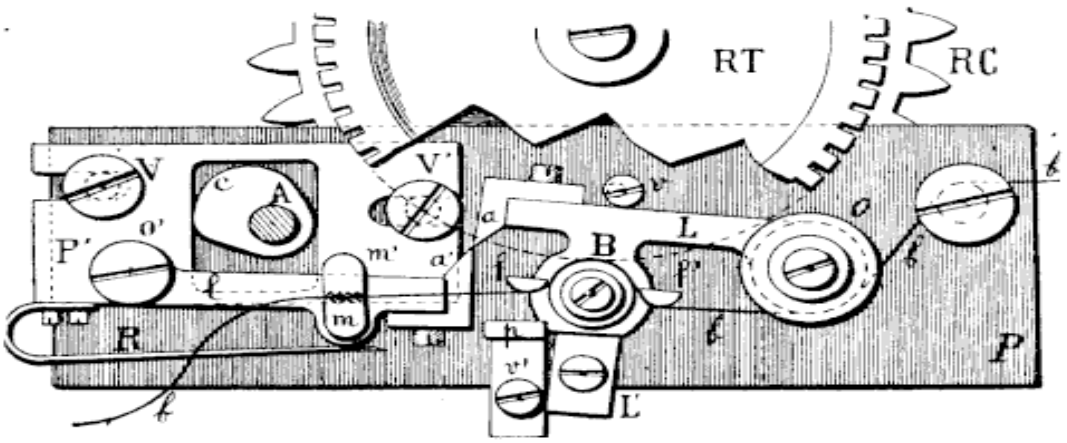


Fig. 117. — Dispositif Guénaire : impression.

le levier L et le barillet B; la bande est appliquée en roulant sur le caractère que présente, à cet endroit, la roue des types RT. Le mouvement de la platine P' se continuant, le bec *a'* abandonne le bec *a* et le levier L retombe brusquement, sous l'action de son ressort et de la pesanteur; un peu avant la fin de la révolution de l'arbre des cames, la partie excentrée de la came *c* ramène la platine P' vers la droite en abaissant le levier *l*, dont le bec *a'* passe sous celui, *a*, du levier L revenu au repos, et toutes les pièces reprennent la position indiquée par la figure 116.

On remarquera que le levier *l*, sollicité par son ressort R, agit sur l'unique came *c*, comme le fait le levier de progression sur sa came, en ce qui concerne le commencement et la fin de l'embrayage (v. p. 109); le barillet tourne au moment de l'impression, comme dans le système ordinaire, ce qui, nous l'avons dit, concourt à la netteté de l'empreinte; enfin, le bec *a'*, qui remplace la came d'impression, n'est pas rigide comme celle-ci : son ressort R donne au fonctionnement une certaine souplesse et évite l'écrasement du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

barillet contre le caractère, avec tous les inconvénients qui en résultent (bavures, ralentissements, usure des pièces, etc.).

A l'heure actuelle, le Comité technique n'a pas encore statué sur le sort du système de M. Guénaire et nous ignorons, par suite, s'il est appelé à entrer dans le domaine de la pratique. Ajoutons seulement que ce dispositif fonctionne, à titre d'essai, dans diffiérents postes et semble, jusqu'à présent, devoir donner des résultats satisfaisants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IX

ORGANES DU MOUVEMENT

Poids moteur. — La force motrice, grâce à laquelle l'appareil est mis en mouvement, est fournie par une masse pesante qui, dans sa chute, entraîne une roue en acier, par l'intermédiaire d'une chaîne métallique . Sur l'axe de celle-ci, en est une autre, en bronze, qui engrène avec un pignon placé sur un deuxième axe; le mouvement reçu par ce dernier est transmis, de la même façon, à un troisième axe, et ainsi de suite : on a, là, un jeu d'engrenages comparable à celui que nous avons décrit au début de ce cours (v. p. 23). Chaque roue est rivée sur une assiette en laiton, soudée elle-même sur l'axe; la première est, en outre, goupillée; les pignons sont en acier et taillés dans les axes mêmes.

L'appareil comporte cinq axes horizontaux, supportés par deux platines en laiton, posées elles-mêmes sur la table à laquelle elles sont solidement fixées au moyen de vis; un sixième axe, vertical, est celui du chariot. Le premier axe reçoit le mouvement de l'action du poids; le second et le troisième le transmettent au quatrième, sans autre fonction spéciale; le quatrième est celui de la roue des types; il entraîne, à son tour, le cinquième, l'axe du volant, et, par une roue d'angle, le sixième , l'axe du chariot. La figure 118, ci-après, indique le rapport du nombre de dents entre chaque roue menante et sa roue menée : on voit que ce rapport est de 1 à 3 pour les premier et second axes, de 1 à 6 pour les deuxième, troisième et quatrième, enfin de 1 à 7 pour les deux derniers, en d'autres termes, un tour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entier de la roue que commande directement le poids correspondant à 108 tours de la roue des types et à 756 de l'axe du volant.

Le poids moteur est constitué par la réunion de ron-

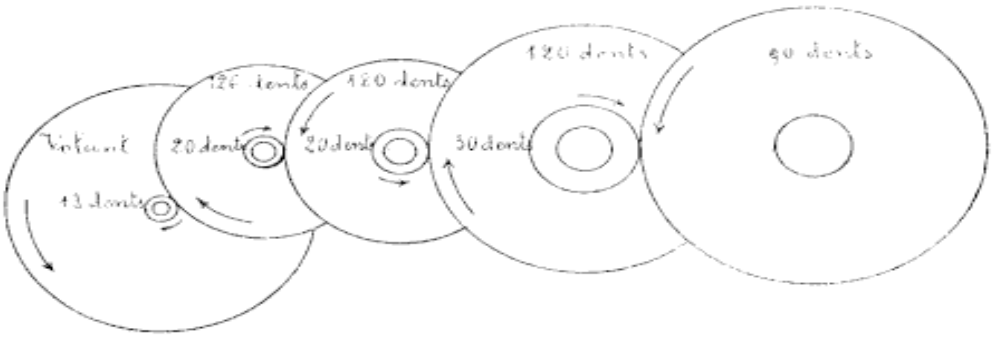


Fig. 118.

delles de plomb, généralement au nombre de six, fendues suivant un rayon, de manière à pouvoir être enfilées sur une tige commune; les rondelles pesant chacune 10 kilogrammes, le poids total a donc, dans la plupart des cas, une valeur de 60 kilogrammes. L'un des bouts de la tige est solidement rivé à une plaque circulaire, qui supporte la première masse de plomb, sur laquelle on empile les autres. L'extrémité opposée de la tige forme un crochet, qui permet de la suspendre, avec le poids qu'elle supporte, à la chape d'une forte poulie (fig. 121).

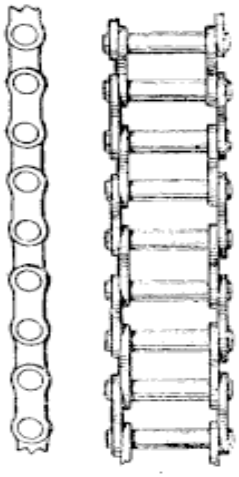


Fig. 119. Fig. 120.

Une chaîne de Galle, sans fin, soutient la poulie; cette chaîne est formée d'une suite de goupilles en acier, reliées deux à deux par des lames également en acier (fig. 119 et 120) et disposées de manière à pouvoir pivoter librement sur les goupilles: elle joint à une grande souplesse une solidité également très grande. A l'une des extrémités, la goupille est remplacée par une forte vis, qui permet de réunir les deux bouts et d'en faire une chaîne sans fin.

La roue qui supporte le poids est en acier et montée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur le premier axe de l'appareil (fig. 121); elle est munie de fortes dents, qui s'engagent dans les mailles de la chaîne de Galle et empêchent tout glissement; partant de cette roue motrice, R*m*, la chaîne descend à gauche, traverse la table de l'appareil, pour venir s'engager dans la gorge de la poulie P, dont la chape supporte le poids moteur, P*m*, remonte à droite et vient prendre point d'appui sur les dents d'une roue en acier, R_1. Celle-ci ne sera mobile que pendant le remontage du poids; en temps ordinaire, elle est immobilisée par un cliquet, C', appelé *cliquet de retenue*, qui, sollicité par un ressort, *r'*, à se déplacer de gauche à droite, vient caler une dent d'un rochet R*r*, solidaire, par son manchon, de la roue de chaîne R^2 : cette dernière ne peut donc obéir à la traction du poids et constitue ainsi pour lui un point d'appui.

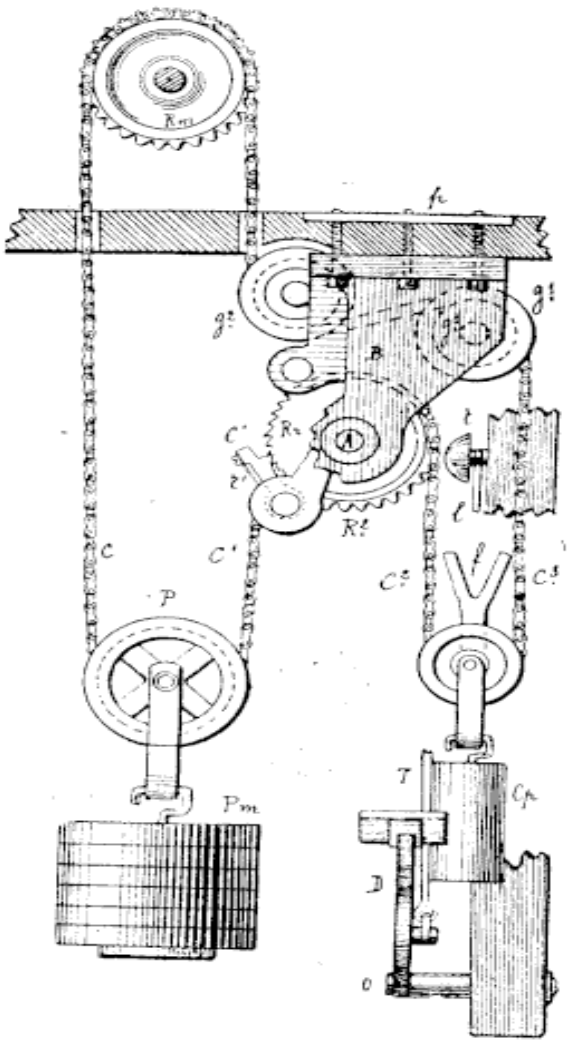


Fig. 121. — Chaîne sans fin du poids moteur.

La chaîne est tendue ensuite par un petit contrepoids, C*p*, en passant dans la gorge d'une poulie à chape, comparable à celle du poids moteur; de là, la chaîne va retrouver la roue motrice R*m*, en contournant deux petites poulies ou galets, g^1, et g^2, qui n'ont pas d'autre fonction que de la guider.

La poulie du poids est donc montée en moufle; nous avons indiqué (v. p. 22) les avantages de ce dispositif,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui permet, sur la roue R*m*, le passage d'une longueur de chaîne double de la hauteur de chute du poids; en outre, celui-ci pourra être remonté par une traction opérée sur la branche de chaîne C', sans que son action motrice sur la branche C et la roue R*m* soit interrompue ni même modifiée; en un mot, on a, là, un levier du troisième genre, à deux bras égaux (deux rayons de la poulie) : le point d'appui est pris sur la roue R_2, la puissance est appliquée au milieu et la résistance à l'autre extrémité (branche C et roue R*m*). Si l'on compare les chemins parcourus par la résistance et par la puissance dans un temps donné, on voit que le premier est double du second ($30 \times 2 = 60 \times 1$).

Lorsqu'on remontera le poids, en faisant tourner la roue R_2, qui tirera sur la branche C' de la chaîne, la poulie deviendra un levier du deuxième genre, à deux bras égaux, avec la puissance appliquée sur la branche C', la résistance au milieu, sur la chape, et le point d'appui pris sur la branche C : c'est, dans ce cas, la puissance qui parcourra un chemin double de celui que franchira la résistance : avec un effort de 30 kilogrammes, on remontera le poids qui en comporte 60; mais, quand on aura fait passer sur la roue R_2 un mètre de chaîne, on n'aura remonté le poids que de 50 centimètres, parce que les deux branches, C et C', auront été raccourcies d'une quantité égale. Ajoutons que le remontage est opéré à l'aide d'une pédale qui constitue, elle aussi, un levier du deuxième genre, dont les bras sont dans le rapport de 2 à 5 environ. L'effort du pied se réduira donc à 12 kilogrammes, avec un chemin parcouru cinq fois plus grand, si l'on fait abstraction, bien entendu, des diverses résistances passives opposées par le système de remontoir lui-même.

Le contrepoids C*p* a pour but de tendre la partie de chaîne en réserve et d'éviter qu'elle s'entortille autour de la roue R_2 pendant le remontage du poids moteur : à ce moment, le contrepoids descend, comme le premier, d'une hauteur égale à la moitié de la longueur de chaîne qui lui est rendue, par suite de l'allongement des deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

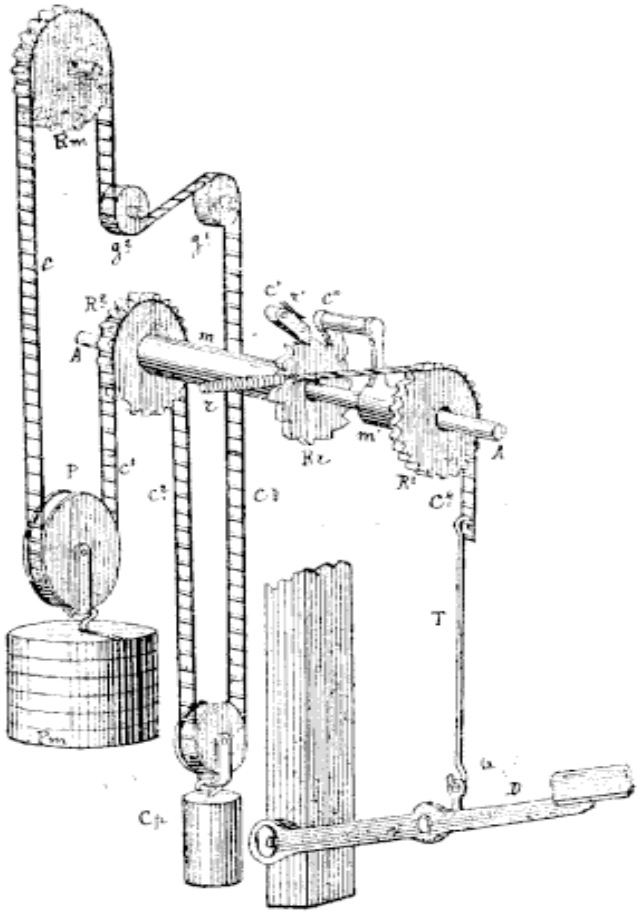


Fig. 122 — Remontoir à pédale.

branches C^2 et C^3, qui soutiennent sa poulie.

La longueur de la chaîne sans fin a été calculée de telle sorte que, lorsque le poids moteur arrive à toucher le sol, le contrepoids se trouve en haut de sa course. Un peu avant ce moment, une fourchette *f*, qui prolonge verticalement la chape du contrepoids, vient rencontrer, entre ses deux branches, un petit levier *l*, qu'elle soulève avec elle; ce levier fait déclancher le marteau d'un timbre *t*, monté sur l'un des pieds de la table, et l'employé est averti qu'il est temps d'agir sur la pédale pour opérer le remontage du poids.

Remontoir à pédale. — L'élévation périodique du poids s'effectue par l'intermédiaire d'un *remontoir à pédale*. Les différentes parties qui le composent sont supportées par un bâti en fonte, B (fig. 121) ou *massif du remontoir*. fixé sous la table de l'appareil au moyen de fortes vis, taraudant dans une plaque en laiton *p*, encastrée dans le bois et sur la face supérieure. L'axe, A, dont l'extrémité seule est visible sur la figure 121, porte une série de mobiles, que le croquis ci-dessus (fig. 122) représente sous la forme théorique et dépouillés de leurs accessoires : la roue de remontoir R_1 est rendue solidaire du rochet Rr par l'intermédiaire du manchon *m*; celui-ci est monté à frottement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doux sur l'axe A et peut donc tourner indépendamment de lui. Le *cliquet de retenue*, C', calant une dent du rochet R*r*, l'empêche de tourner en sens inverse des aiguilles d'une montre et assure ainsi le point d'appui de la branche de chaîne C_1 sur la roue dentée R_2.

A l'extrémité antérieure de l'axe A, et monté également à frottement doux, un autre manchon, *m'*, porte une roue dentée, R_1, et un cliquet C'' ou *cliquet d'entraînement*. Sur les dents de la roue R_1 passe un bout de chaîne de Galle C_4 (distinct de la chaîne sans fin); les deux extrémités de cette chaîne sont attachées, l'une à une tige en acier, T, accrochée à la pédale D; l'autre à un ressort à boudin, *r*, fixé, par son bout opposé, sous la table de l'appareil.

On voit que, lorsque l'opérateur exercera une pression sur la pédale, celle-ci, s'abaissant, entraînera la tige T et le bout de chaîne de Galle C_4 malgré l'opposition du ressort *r*, qui s'allongera : la roue R_1 tournera dans le sens des aiguilles d'une montre. Le cliquet d'entraînement, C'', calé sur une dent du rochet R*r*, obligera celui-ci à suivre son mouvement; le cliquet de retenue, C', ne s'opposera pas à la rotation dans ce sens; les dents du rochet le soulèveront pour passer, puis, sous l'action de son ressort *r'*, il retombera successivement dans chacun des creux qui passeront sous lui : la roue dentée, R_2, tournera donc comme la roue de pédale R_1 dans le sens des aiguilles d'une montre; la branche de chaîne C_1 sera raccourcie, tandis que la branche C_2 s'allongera d'une quantité égale; le poids moteur P*m* remontera et le contrepoids, C*p*, descendra.

Dès que cessera la pression sur la pédale, la traction opérée par le poids moteur sur la chaîne C_1 tendra à faire rétrograder la roue dentée R_2; mais la dent du rochet R*r*, derrière laquelle se trouve, à ce moment, le cliquet de retenue C', viendra se caler sur celui-ci, qui s'opposera au retour en arrière. Pendant ce temps, le ressort à boudin ramènera le bout de la chaîne C_4 et, avec lui, la tige T et la pédale D à la position de repos; la roue de pédale R_1

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tournera en sens inverse, le cliquet d'entraînement, C'', glissera sur les dents du rochet R*r*, tombant successivement dans tous les creux qu'il rencontrera et viendra finalement se mettre en prise avec une autre dent, prêt à agir sur celle-ci comme précédemment dès que la pédale sera de nouveau actionnée.

En résumé, les deux manchons, *m* et *m'*, seront rendus solidaires par le cliquet d'entraînement agissant sur le rochet et tourneront ensemble tant qu'on appuiera sur la pédale; mais le cliquet de retenue, C', ne permettra jamais au manchon *m* le retour en arrière, que *m'* accomplira seul.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X

RÉGULARISATION DU MOUVEMENT

Isochronisme. — Si l'on veut établir un synchronisme entre deux organes mobiles, la condition essentielle à réaliser, tout d'abord, est d'animer chacun d'eux d'un mouvement *uniforme* ou *isochrone*.

Nous avons indiqué sommairement (p. 25) le lien étroit qui existe entre la vitesse d'un mobile et les résistances qu'il rencontre; analysons, maintenant, ce qui va se passer lorsque nous mettrons l'appareil en marche.

Le poids moteur aura, d'abord, à vaincre l'*inertie* des différents organes (v. p. 7) qui, étant au repos, tendent à conserver cet état; mais, le démarrage une fois opéré, la même force d'inertie agira pour entretenir le mouvement et comme, d'autre part, le poids continuera à tirer sur la chaîne qui le lie au premier mobile, cette force constante déterminera une *accélération* du mouvement : les rouages tourneront de plus en plus vite.

Si ces derniers pouvaient se mouvoir sans *résistance*, leur vitesse serait *uniformément accélérée*, comme c'est le cas pour un corps tombant librement dans le vide; mais nous savons qu'il n'en est jamais ainsi dans nos appareils; les frottements des axes sur leurs paliers (v. p. 16), les résistances de toutes sortes, prennent une valeur d'autant plus grande que la vitesse a acquis un régime plus élevé : la limite d'accélération sera atteinte lorsque ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistances à vaincre arriveront à représenter un travail égal à celui que peut fournir le poids moteur; on dit alors que *le travail moteur est égal au travail résistant* (TM=TR) : le mouvement est maintenant *uniforme* et restera tel, tant que les deux termes de cette égalité resteront, eux-mêmes, invariables.

La force motrice, dans le cas qui nous occupe, étant fournie par un poids, sera toujours égale à elle-même; en sera-t-il ainsi des résistances? Non, évidemment, car notre appareil, indépendamment des organes qui tournent constamment, en comprend un certain nombre d'autres (goujons, déclanchement, etc.) dont le fonctionnement est intermittent. La vitesse, partie de zéro, est devenue uniforme, après avoir passé par toutes les valeurs intermédiaires et notre appareil déroule, sans travailler autrement, d'un mouvement régulier; mais que nous venions à soulever un goujon, le chariot va être obligé de passer par-dessus, son mouvement de bascule va être transmis au levier de détente, l'impression, la progression vont s'opérer : ce travail supplémentaire, s'ajoutant à celui qui, précédemment, équilibrait le travail moteur, va déterminer un ralentissement jusqu'à un régime tel que la somme des résistances redevienne, par suite de la diminution de vitesse, égale à ce qu'elle était avant l'entrée en fonction des derniers organes : un *nouveau* mouvement uniforme va pouvoir s'établir, mais avec une vitesse moindre.

La traduction du signal terminée, l'arbre des cames, les leviers que celles-ci commandent, vont rentrer au repos; le *travail résistant* se trouvera subitement inférieur au *travail moteur* : la vitesse va aussitôt s'accélérer, comme elle l'a fait lors de la mise en marche, jusqu'au moment où un nouvel équilibre pourra s'établir.

Ajoutons à cela que nos rouages, graissés à des intervalles plus ou moins longs, n'engendreront pas toujours, de ce fait, la même résistance sur leurs paliers, et nous voyons que, si nous n'y apportons remède, l'isochronisme ne sera jamais maintenu et, conséquemment, le synchro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nisme, base de la différenciation des signaux, deviendra irréalisable.

Rôle du régulateur. — Il faudra donc, de toute nécessité, munir notre appareil d'un organe capable de compenser, à chaque instant, les variations qui se produiront dans la résistance, de manière à maintenir celle-ci constante.

Nous avons défini (p. 28) les régulateurs agissant sur la résistance en les qualifiant de *freins automatiques*. En effet, leur rôle est comparable à celui des freins dont sont munis les véhicules de toutes sortes : lorsque, par exemple, une voiture descend une pente, le conducteur serre le frein pour empêcher une accélération qui pourrait devenir dangereuse; ce faisant, il introduit, en plus des résistances ordinaires de la voiture, un frottement d'une énergie suffisante pour que la force qui aurait produit l'accélération soit totalement employée au travail supplémentaire absorbé par le frein; que la pente, à un certain moment, devienne moins rapide, la pesanteur agira avec moins de force et la vitesse se ralentira; mais si, en même temps, le conducteur desserre son frein d'une certaine quantité, il diminuera proportionnellement la résistance engendrée par celui-ci et permettra ainsi à son véhicule de regagner la vitesse qu'il possédait sur la pente plus rapide. En un mot, si ce conducteur observe attentivement les varitions de la vitesse de sa voiture et si, aussitôt celles-ci constatées, il agit, sans retard, sur le frein, serrant lorsque la tendance est à l'accélération, desserrant au contraire au premier indice de ralentissement, il arrivera à donner à son véhicule une vitesse, sinon rigoureusement uniforme, tout au moins très voisine de l'uniformité absolue, cela, quelles que soient les causes qui tendront à modifier le régime.

Le rôle joué ici par le conducteur de la voiture sera, dans notre appareil, dévolu au *régulateur*; celui-ci, de même que le premier, engendrera, par son travail propre, une résistance susceptible de varier, comme celle d'un frein

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus ou moins serré : au moment, par exemple, où le mécanisme d'impression se mettra en marche, le régulateur diminuera sa résistance propre, dans une proportion telle qu'il rendra disponible, pour l'exécution de ce travail supplémentaire, la quantité de force nécessaire, quantité que, précédemment, il absorbait à son profit exclusif; l'augmentation de résistance, provenant du jeu des cames et des leviers, étant exactement compensée par une diminution équivalente de celle du régulateur, la somme totale, qui équilibre le travail moteur, sera ramenée à sa valeur primitive et la vitesse reviendra à son régime normal. Lorsque le travail temporaire des systèmes de transmission et de traduction sera terminé, l'appareil tendra à tourner plus vite; mais, aussitôt, le régulateur engendrera une résistance plus grande en augmentant celle qu'il offrait précédemment, d'une quantité égale à celle qui vient de disparaître : il absorbera la force redevenue disponible et qui, sans cette absorption, engendrerait une accélération du mouvement.

Pas plus que le conducteur, dont nous parlions plus haut, le régulateur ne pourra pas *prévoir* les variations de la vitesse et, en conséquence, n'interviendra que lorsqu'elles se seront déjà produites; mais sa perfection, comme l'habileté du premier, consistera à agir promptement et à enrayer le mal avant qu'il ait eu le temps d'apporter, dans la marche de l'appareil, une perturbation sensible. Il ne donnera donc pas, lui non plus, l'isochronisme absolu, qui n'est pas réalisable, mais il s'en approchera suffisamment, en ne permettant que des écarts extrêmement minimes. Si nous ajoutons à cela qu'il agira sous l'action de la force centrifuge (v. p. 11), laquelle varie en raison du carré de la vitesse, et que l'axe sur lequel il sera monté tourne sept fois plus vite que celui de la roue des types, nous voyons que les variations, déjà peu importantes sur le premier, le seront encore moins pour le second.

Or, c'est celui-ci qui a besoin d'être animé d'une vitesse aussi uniforme que possible : l'isochronisme relatif, que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous donnera le régulateur, complété par la rectification périodique de la roue correctrice par la came, sera suffisant pour que nous puissions mettre notre roue des types en synchronisme avec le chariot d'un correspondant.

Axe du volant. — Le régulateur aura pour auxiliaire un volant (v. p. 27), c'est-à-dire une roue massive fortement renflée à son pourtour et qui, par son inertie, empêchera les changements brusques de vitesse; la résistance qu'opposera sa masse à tout ralentissement ou à toute accélération *graduera* le changement de régime et donnera au régulateur le temps d'agir efficacement pour rétablir celui-ci, avant qu'une perturbation appréciable se soit produite.

L'axe du volant, dont nous avons déjà parlé, pour ce qui concerne son embrayage avec l'arbre des cames (v p. 107) est, de tous ceux de l'appareil, celui qui tourne le plus vite (14 à 16 tours par seconde, environ).

Il est soutenu à l'arrière par un pontet en lation, P*o*, fixé au moyen de vis derrière la platine postérieure, P*l*, (fig. 123); à l'avant, par un coussinet, C, porté par une équerre, *q*, montée sur la face antérieure de la même platine. Il reçoit le mouvement de l'axe de la roue des types par le pignon P; à l'avant du coussinet, la roue à rochet, R, sert à l'embrayage de l'arbre des cames, lequel s'appuie sur le bout d'axe en olive, O. Cette roue à rochet est rivée sur une assiette en laiton, M, soudée, elle-même, sur l'axe.

M. Hilten, mécanicien à Paris-Bourse, propose de visser le rochet sur son assiette, ce qui permet de le remplacer sans dessouder cette dernière.

A la partie postérieure, l'extrémité libre de l'axe, A, servira à monter un *frein* qui établira la liaison entre l'axe du volant et le régulateur.

Le volant n'est pas fixé invariablement sur l'axe, mais monté seulement à frottement. Il importe, en effet, que la grande inertie du volant ne puisse jamais devenir nuisible : en cas d'arrêt brusque, par exemple, résultant de la rencontre anormale de deux pièces, la force emma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ganisée dans le volant pourrait déterminer la déformation ou même la rupture de ces pièces : un montage, semblable à celui de la roue de frottement sur l'axe de la roue des

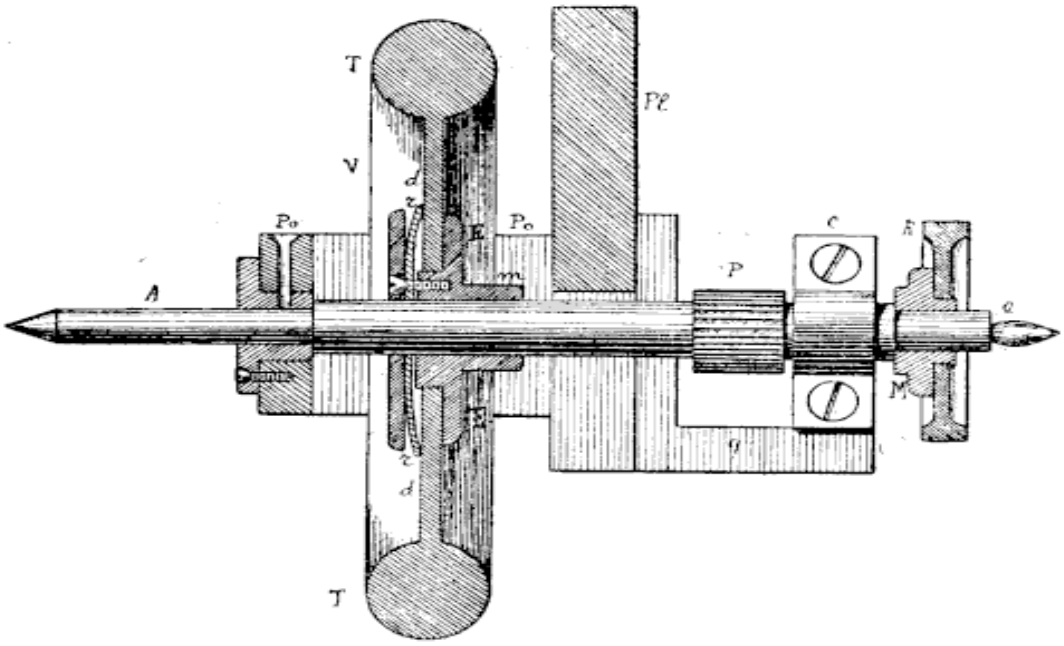


Fig. 123. — Arbre du volant.

types, permettra au volant de dépenser cette force acquise sans causer de dégâts.

Le volant, V, est constitué par un disque de laiton, *d*, encadré d'un tore de même métal, T ; le disque, à sa partie centrale, est percé d'un trou circulaire, qui permet de l'emboîter sur un manchon, *m*, fixé à l'axe. Un fort ressort bombé, *r*, comprime le disque contre l'épaulement, E ; à cet effet, trois vis, traversant le ressort pour venir tarauder dans l'épaisseur du manchon, permettent de régler la pression de façon convenable : celle-ci doit être suffisante pour que le volant ne puisse se déplacer sur son axe, pendant la marche, mais sans qu'une certaine limite soit, toutefois, dépassée : le volant, en cas d'arrêt subit de l'appareil, doit glisser sur son assiette et amortir ainsi sa vitesse acquise.

Levier d'arrêt. — On arrête ou on met en marche l'appareil en manœuvrant un *levier d'arrêt*, placé derrière l'extrémité gauche de la platine postérieure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce levier consiste en une sorte de manette massive, N, en laiton (fig. 124), articulée sur la platine et susceptible

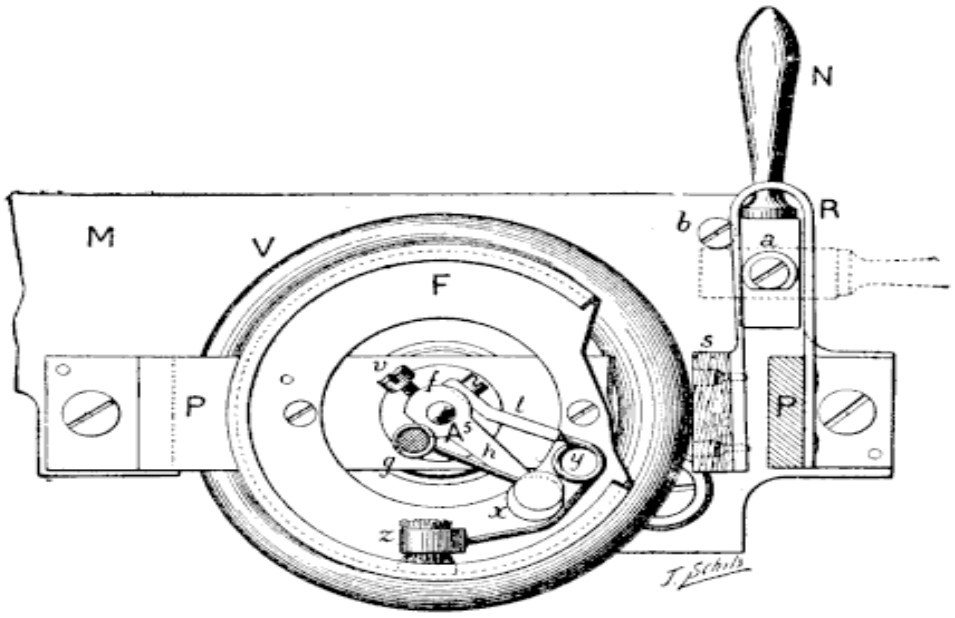


Fig. 124. — Volant et levier d'arrêt

d'être déplacée, autour de son axe, d'un angle égal à un quart de cercle, son mouvement étant limité par une vis, *b*, implantée dans la platine, M, et dont la manette vient rencontrer la tête lorsqu'elle est dans la position verticale ou sur l'horizontale.

Au point de pivot de la manette est fixé un manchon cylindrique, en laiton, *a*, aplati du côté opposé à la partie extrême de la dite manette; ce manchon pivote entre les deux branches d'un fort ressort en laiton, R, fixé à l'aide de deux vis au pontet, P, et terminé par un sabot ou frotteur, *s* : lorsque la manette est horizontale, la partie aplatie du manchon, *a*, permet à la branche de gauche de se rapprocher de celle de droite : un petit intervalle existe alors entre le frotteur, *s*, et le volant, V, qui peut tourner librement. Dès qu'on redresse la manette, le manchon, *a*, formant excentrique, écarte le ressort, R, et le frotteur vient s'appuyer contre le volant : celui-ci est immobilisé, et, avec lui, tout l'appareil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XI

RÉGULATEURS

Régulateur Hughes. — Le régulateur Hughes est basé sur l'isochronisme des oscillations d'une tige vibrante; celle-ci, primitivement rectiligne et longue seulement de 20 centimètres environ, avait le grave défaut de se rompre fréquemment. Après de nombreuses modifications, M. Hughes en est arrivé à faire usage d'une tige cylindrique, L, (fig. 125) dont l'extrémité antérieure est légèrement conique; la partie postérieure est rectiligne, pour permettre son encastrement dans une forte mâchoire; le reste est enroulé en une hélice de neuf spires, placées très près l'une de l'autre, sans toutefois se toucher. Le développement total de cette tige est de $2^{m},10$, ce qui permet de répartir sur une grande surface le travail moléculaire, qui s'accomplit lorsque la lame vibre, et qui, précédemment, amenait de si fréquentes ruptures; l'extrémité d'arrière de la tige, située exactement sur l'axe de l'hélice, est solidement encastrée dans une mâchoire formée de deux fortes plaques en laiton, G et H, réunies par quatre vis, dont deux, *m* et *n*, sont visibles sur la figure 125. Cette mâchoire est, elle-même, portée par une console en bois ou en fonte, fixée à la table qui supporte l'appareil.

Sur la partie antérieure de la tige vibrante est enfilée une boule massive, B; le ballottement de cette boule, pen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

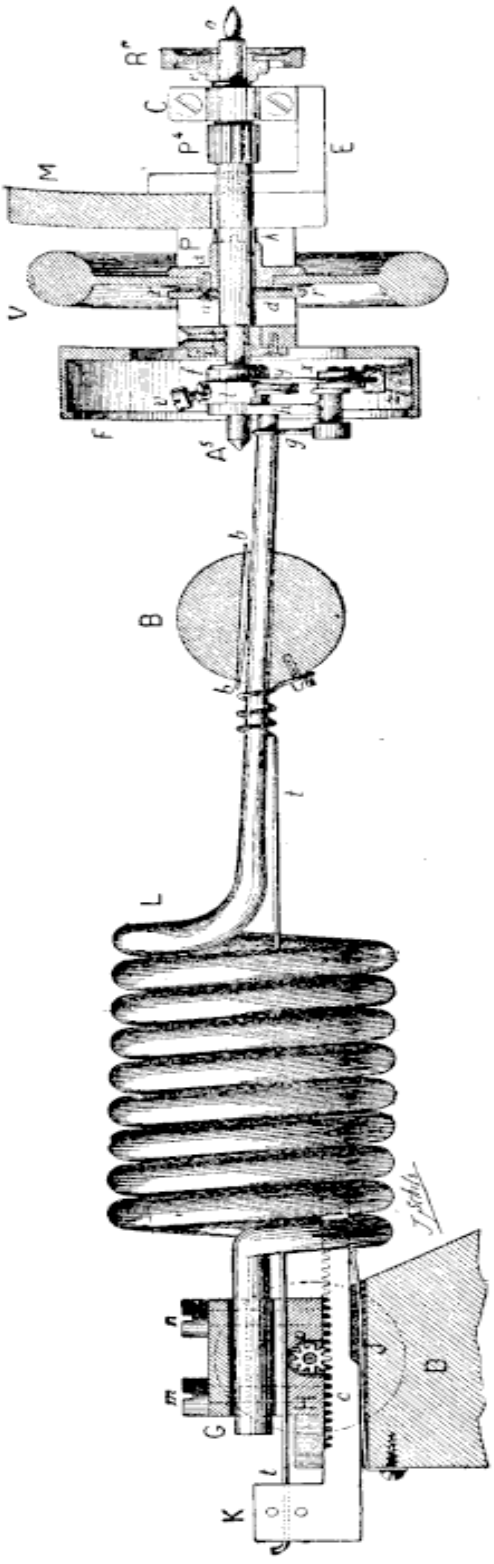


Fig 125. — Régulateur Hughes.

dant que la tige vibre, est empêché par un petit ressort-lame, *bb*, courbé à l'état normal, et qu'il a fallu redresser pour l'introduire dans la boule, entre la paroi intérieure du trou et le bout de la tige vibrante : dans ces conditions, le ressort tend à soulever la boule et l'applique contre la partie rectiligne lui assurant une stabilité aussi complète que si elle y était à demeure; on pourra toutefois la déplacer, à l'aide d'une tige en acier, *t*, terminée, par un œilleton serré sous la tête d'une vis, qui taraude dans la boule. L'extrémité opposée de cette tige est encastrée à l'aide de deux vis dans un *curseur*, *c*, à crémaillère; un petit pignon, *p*, manœuvré par un bouton moleté (pointillé seulement sur la fig. 125), permet de faire avancer ou reculer la crémaillère et, avec elle, la boule B, par l'intermédiaire de la tige en acier, *t*, ou *tige du curseur*. La crémaillère est soutenue par un ressort, J; ce ressort, en même temps qu'il applique convenablement les dents de la crémaillère contre celles du pignon, rend le mouvement de ceux-ci un peu plus dur; il évite ainsi que les vibrations

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puissent permettre à la boule de se déplacer spontanément en marche, ce qui aurait pour effet de modifier la vitesse et de rendre impossible le maintien du synchronisme.

L'extrémité antérieure de la tige vibrante est reliée à l'axe du volant, A, par une manivelle, *g*, dont nous reparlerons plus loin; à l'état de repos, elle est centrée de manière à venir s'appuyer contre le petit manchon en laiton, qui porte la manivelle; dès que l'appareil est mis en marche, et sous l'action de la force centrifuge développée dans la boule B, la tige s'écarte et se met à vibrer; son extrémité décrit dans l'espace un cercle concentrique à l'axe du volant; les différents points de la circonférence ainsi tracée, réunis au point d'encastrement, formeraient par suite un cône régulier.

Le régulateur Hughes est basé sur les deux principes suivants :

1° Les oscillations d'une tige vibrante sont isochrones pour une amplitude ne dépassant pas une certaine limite;

2° La durée de l'oscillation d'un pendule conique muni d'une masse pesante, dépend de la distance de la masse au point de suspension.

On donnera donc à l'appareil la vitesse qui convient en déplaçant la boule, à l'aide du curseur : on augmentera la vitesse en la rapprochant du point d'encastrement et inversement; cette manœuvre peut s'exécuter pendant que l'appareil est en marche.

Frein. — Nous venons de dire que les oscillations de ce régulateur resteraient isochrones à la condition que leur amplitude ne dépasse pas une limite assez étroite : afin de maintenir le régulateur en deçà de cette limite, on le relie à l'axe du volant par l'intermédiaire d'un *frein;* celui-ci dépensera en frottements tous les excédents de force qui, sans son intervention, seraient susceptibles de donner à la boule une amplitude exagérée.

Le frein est constitué de la façon suivante : un manchon en laiton, *m* (fig. 126), fixé sur l'axe, A, du volant par une vis de pression, V, porte un bras, également en laiton, F,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au bout duquel est articulé un petit disque en acier, *d*; sur ce disque est montée une tige, *t*, terminée par un anneau en œilleton, *g*; c'est dans cet œilleton qu'on engage l'extrémité libre de la tige vibrante (v. fig. 125), le bras F et la petite tige, *t*, constituant la manivelle dont nous parlons plus haut.

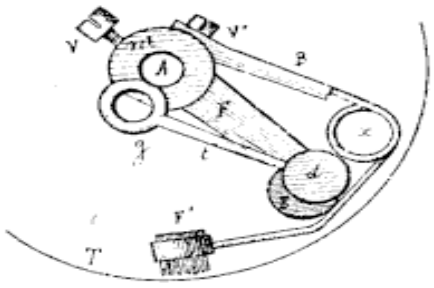


Fig. 126 — Frein.

Le disque, *d*, est solidaire par son axe, d'un autre disque en ivoire, E, excentrique, qui suivra tous ses mouvements, lorsque la tige vibrante, prenant une amplitude plus ou moins grande, écartera ou rapprochera du centre l'œilleton, *g*.

Sur le manchon, *m*, est fixé à l'aide d'une vis, V', un second bras en laiton, B, à l'extrémité duquel est soudée une tige en acier; cette tige enroulée en hélice à sa partie, *x*, de façon à former ressort, se prolonge au delà de ce point, en une partie coudée, terminée par un petit manchon de laiton, F', dans lequel on introduit un tampon d'étoupe, formant frotteur; le coude se trouve, à l'état de repos, et grâce à l'élasticité de la partie en hélice, *x*, appliqué contre un petit rayon de l'excentrique E; celui-ci, en se déplaçant lorsqu'on écartera du centre l'œilleton, *g*, poussera vers l'extérieur la tige coudée et obligera le frotteur à venir au contact d'un cylindre creux, en acier, ou tambour, T, à l'intérieur duquel tourne le frein.

Fonctionnement du régulateur et du frein. — Lorsqu'on met l'appareil en marche, la vitesse, comme nous l'avons dit plus haut (p. 163), va en s'accélérant; l'extrémité de la tige vibrante, entraînée par l'œilleton du frein, décrit un cercle autour de l'axe du volant, pendant que le pied de la tige se tord autour de son point d'encastrement. Mais, à mesure que la vitesse augmente, la boule pesante devient le siège d'un développement de force centrifuge, qui tend à l'écarter de l'axe autour duquel elle tourne; cet axe serait figuré par la ligne qui, prolongeant l'axe du volant, irait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rejoindre le centre de section de la tige vibrante, au point où elle sort de la mâchoire. De son côté, la tige oppose une résistance à l'écartement que tend à lui communiquer la boule : lorsque la vitesse a atteint un régime suffisant pour que la force centrifuge devienne prépondérante, la boule s'écarte, entraînant avec elle la tige, qui entre en vibration.

C'est alors que doit intervenir le frein, pour empêcher l'amplitude de dépasser la limite au delà de laquelle les oscillations ne sont plus isochrones : la tige, en s'écartant, entraîne avec elle l'œilleton de la manivelle; l'excentrique en ivoire, pivotant avec celle-ci, présente à la tige du frotteur un rayon de plus en plus grand et amène le tampon d'étoupe au contact de la paroi du tambour; une friction est ainsi exercée, qui absorbe toute la force encore disponible et empêche l'exagération de l'amplitude.

Lorsque, après avoir ainsi laissé l'appareil dérouler librement, on mettra en marche les mécanismes de transmission et d'impression, les résistances subitement engendrées par ces organes précédemment au repos vont, au premier moment, déterminer inévitablement un ralentissement. Mais, aussitôt, la force centrifuge, qui agit sur la boule, va diminuer; la boule revenant vers le centre d'une petite quantité, il y aura immédiatement diminution, d'une part, du travail de torsion de la tige autour de son point d'encastrement, d'autre part, du frottement du tampon d'étoupe sur le tambour du frein : la tige reprendra son régime normal de vibrations, après avoir rendu disponible, pour le travail de l'appareil, une certaine quantité de force.

Lorsque seront terminées les fonctions qui ont entraîné le changement d'amplitude,la diminution de résistance, qui en résultera, amènera infailliblement une augmentation de vitesse; la force centrifuge s'accroissant, l'amplitude de la boule deviendra plus grande, le travail moléculaire de la tige et le frottement du frein en seront accrus et la vitesse reviendra à son régime précédent.

Les changements, dont nous venons de parler dans l'amplitude des oscillations, seront de peu d'étendue bien

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que sensibles à l'œil : en effet, il faut tenir compte, d'abord, de la répercussion immédiate qu'ont sur la force centrifuge les variations de la vitesse, et cela, nous l'avons dit, en raison du carré de celle-ci; ensuite, de la proportion entre les bras du levier sur lequel agit l'excentrique, E, du frotteur : la longueur de la petite tige, *t*, étant, environ, trois fois celle du plus grand rayon de l'excentrique, il s'ensuit que l'effort exercé sur le frotteur est trois plus grand que celui de la lame vibrante sur l'œilleton; enfin, considérons que le frottement absorbe une quantité de force d'autant plus grande que la vitesse est plus rapide, et comme nous savons que le frein tourne, avec le volant, à raison de 14 tours, au moins, par seconde, nous pouvons concevoir qu'un changement relativement très minime dans la friction sur le tambour corresponde à une différence très notable dans la quantité de force absorbée. Pour nous en rendre compte il nous suffit de faire l'expérience suivante : posons le doigt, sans grand effort, sur le volant en marche : nous arrêterons net l'appareil; exerçons un effort semblable sur la roue des types : nous ferons à peine ralentir; appuyons de toutes nos forces sur l'une des roues du premier mobile : nous n'amènerons même pas une modification de l'amplitude de la boule.

Toutes ces considérations nous conduisent à constater que si, d'une part, chaque variation dans les résistances doit forcément amener une perturbation dans la vitesse, cette modification sera extrêmement minime et de très courte durée : le régime normal sera repris aussitôt après; nous n'aurons pas, il est vrai, l'isochronisme absolu, irréalisable dans tous les cas, mais nous nous en rapprocherons suffisamment pour que la rectification périodique de la came correctrice fasse le reste : nous étudierons un peu plus loin cette fonction complémentaire.

Inconvénients du régulateur Hughes. — Le régulateur que nous venons de décrire présente quelques inconvénients ; les vibrations de la tige produisent un bruit qui, pour n'être pas strident comme celui des premières lames

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rectilignes, finit cependant par être fatigant pour l'opérateur. De plus, il ébranle assez fortement la table sur laquelle il est posé, ce qui n'est pas sans dommage pour les planchers des salles où un grand nombre d'appareils sont réunis; enfin, cet ébranlement, communiqué au pupitre sur lequel sont placés les télégrammes à transmettre, en rend parfois la lecture difficile.

L'Administration a mis à l'étude, ces dernières années un certain nombre de systèmes, qui paraissaient devoir assurer la régularité du mouvement, tout en échappant aux inconvénients que nous venons de signaler. Ils ont été rejetés pour des motifs divers; seul, celui de M. Koch, dont nous nous occuperons plus loin, semble appelé à entrer prochainement dans le domaine de la pratique.

Régulateur Siemens. — Nous décrirons toutefois, à titre de curiosité, le régulateur Siemens, en usage dans la plupart des pays étrangers; son seul défaut est de ne pas se prêter, sans réglages spéciaux, aux changements de vitesse qu'exige notre service intérieur, un même appareil devant pouvoir passer immédiatement de 100 à 160 tours, suivant qu'on l'utilise sur un fil souterrain ou avec une agence de journaux. Il se compose d'un axe vertical, mobile entre deux tourillons (fig. 127) dont l'un, à la partie inférieure, est réglable à l'aide d'une vis V. Un peu au-dessus se trouve une roue d'angle, *r*, destinée à recevoir le mouvement d'une autre, montée sur l'axe du volant. Deux tiges en acier T et T' (fig. 127 et 128) sont fixées à l'axe vertical au moyen de lames, sur lesquelles s'appuient de forts ressorts, également en acier, R, qui tendent à empêcher les tiges de s'écarter. Ces tiges cylindriques servent de guides à deux boules pesantes, en cuivre, semblables à celles du régulateur Hughes. A chacune d'elles est attachée, au moyen d'une vis passant dans un œilleton, une petite tige en acier, *t*, qui, par l'intermédiaire d'un curseur, dont nous parlerons plus loin, permet de déplacer les boules pour le réglage de la vitesse.

Vers la partie médiane, les bras latéraux, B, sont réu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nis par un disque en fonte, qui sert de socle à un tambour cylindrique en acier, semblable à celui dans lequel frotte le frein du Hughes; ce tambour porte, à sa base, une petite portée, destinée à retenir l'huile, dont on lubrifiera la paroi intérieure. L'axe et les tiges-guides étant mis en mouvement, la force centrifuge oblige les boules à s'écarter, malgré l'opposition des ressorts qui lient les secondes au premier, et amène au contact du tambour deux petits frotteurs, F, montés, chacun, sur l'une des tiges, à l'aide d'un fort ressort courbe en acier; ces frotteurs, en cuir rond, déterminent ainsi une friction d'autant plus énergique que les boules tendent à s'écarter davantage.

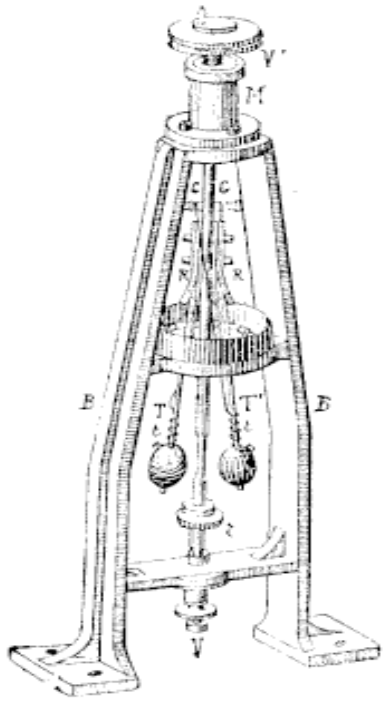


Fig. 127.
Régulateur Siemens et Halske.

On règle la vitesse en marche au moyen d'une vis, V', placée au-dessus du point de rencontre des deux bras latéraux et taraudant dans un mandrin, M, porté par ceux-ci. Le curseur est constitué de la façon suivante : l'axe est entaillé d'une fente verticale, dans laquelle est engagée une cheville CC; deux boutons moletés, taraudant dans cette cheville, serrent sous leur tête l'extrémité supérieure des tiges en acier, qui supportent les boules. La cheville est solidaire d'une tige cylindrique, en acier bien poli, A, qui se loge à frottement très doux à l'intérieur de l'axe et se prolonge à travers le support en fonte et la queue de la vis V, jusqu'au bord supérieur de celle-ci. L'extrémité de cette tige de curseur est terminée par une tête plus large, T' et la vis, V', est entaillée d'une portée à la demande.

Ainsi encastrée dans la vis V, la tige du curseur, A', sera solidaire de tous les mouvements verticaux de celle-ci : lorsqu'on la vissera sur son mandrin, M, le curseur des-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cendra et, avec lui, les boules glisseront sur leurs tiges-guides et inversement.

Un petit disque en acier, D, mobile autour de la vis qui, à l'état normal, le fixe, est placé de manière à fermer la portée dans laquelle se loge la tête, T', du curseur : il empêche ainsi cette dernière de se déplacer verticalement sous l'action de trépidations ou de secousses quelconques; on fait pivoter ce disque, pour introduire l'huile dans le logement de la tige du curseur.

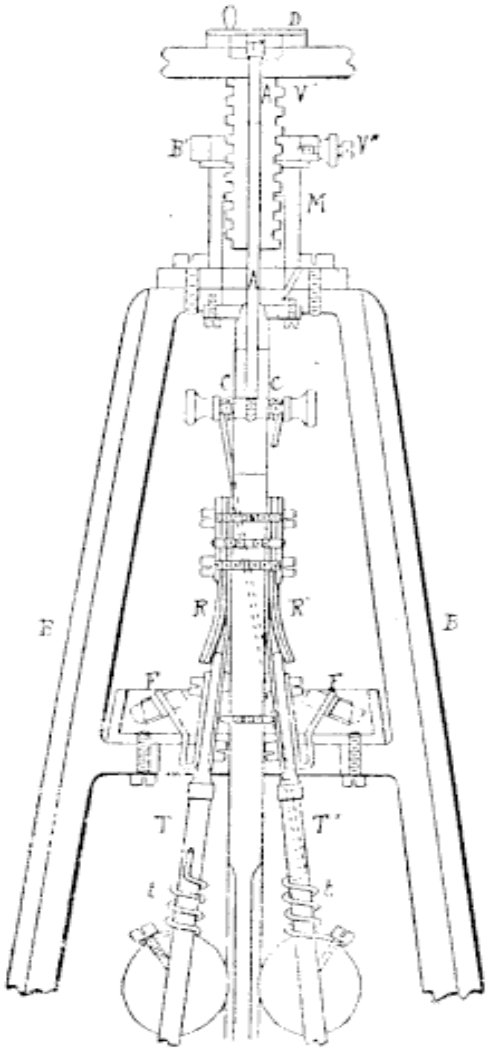


Fig. 128.
Coupe du régulateur Siemens et Halske.

Dans le but d'empêcher la vis V' de se déplacer en marche, ce qui entrainerait un changement de la position des boules et une modification de la vitesse, le mandrin M est entaillé de deux fentes, l'une verticale, l'autre horizontale, et près de la partie supérieure; un peu au-dessus de cette dernière fente, est enfilée une bague, B', munie elle-même d'une vis V'': lorsqu'on serre cette dernière vis, son extrémité vient s'appuyer sur le mandrin, qu'elle tend à éloigner de la bague; celle-ci s'appuie plus fort sur la partie du manchon diamétralement opposée à celle sur laquelle agit la vis V'': cette action a pour effet de rapprocher les deux bords de la fente verticale du mandrin, grâce à l'élasticité que lui permet la fente horizontale : le mandrin serre ainsi la tige de la vis de réglage V', et rend plus dure la manœuvre de celle-ci. On opère de telle sorte que, tout en étant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

susceptible d'être tournée à la main, au prix d'un effort relativement minime, la vis V' ne puisse se déplacer spontanément; on immobilise ensuite la vis V'', à l'aide de sa contre-vis.

Les deux boules occupant, par rapport à l'axe qui les entraîne, des positions diamétralement opposées, se font constamment équilibre et leurs réactions s'annulent réciproquement : l'appareil tourne sans que la table soit ébranlée.

Régulateur Koch. — M. Koch, agent-mécanicien au Poste Central de Paris, a imaginé un régulateur équilibré qui a donné jusqu'ici d'excellents résultats.

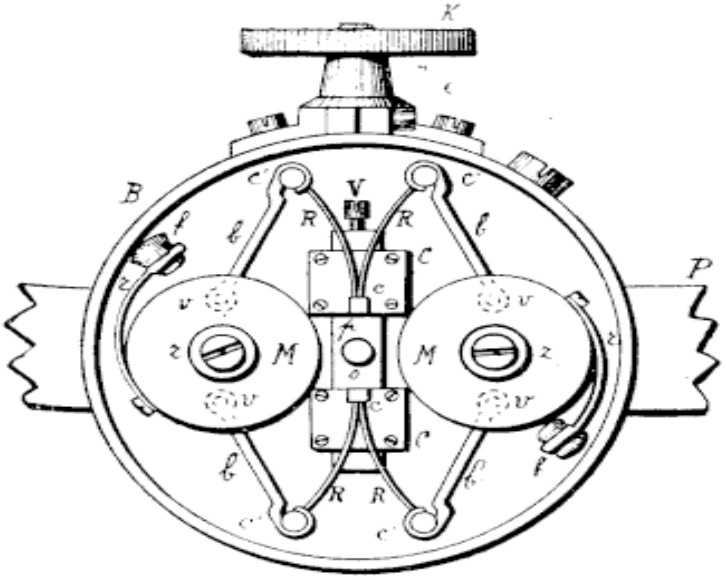


Fig. 129. — Régulateur Koch, vu d'arrière.

La boîte cylindrique, B (fig. 129), qui le renferme, est vissée sur le pont, P, de l'axe du volant, et prend la place de la cuvette du système Hughes, tandis que le régulateur proprement dit occupe celle du frein.

Un prisme métallique *p* (fig. 129 et 130) est percé en son centre d'un trou, *o*, dans lequel vient s'engager l'extrémité de l'arbre du volant; une vis de pression, V, qui taraude dans le prisme *p*, sert à le fixer sur l'arbre. Sur le prisme, de chaque côté de l'axe, peut se déplacer à frottement doux un coulisseau C, ce coulisseau porte d'un côté un galet G et de l'autre une chape *c*, embrassant des lames de ressorts R dont une est représentée de profil (fig.131). Les masses, M, du régulateur portent chacune deux vis, *v*, sur lesquelles sont articulées les biellettes *b*; celles-ci, à leur extrémité opposée, sont terminées par des crochets *c'*,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui servent à agrafer de petits tourillons fixés au bout des ressorts R; enfin, à chacune des masses est vissée extérieurement une lame de ressort *r*, portant à son extrémité libre un frotteur, *f*, assez semblable à celui du frein Hughes. On voit déjà que, lorsqu'on fera tourner l'appareil, la force centrifuge, tendra à écarter les masses, comme dans le système précédent, et dès que l'accélération sera suffisante, les frotteurs viendront exercer une friction sur la paroi intérieure de la cuvette.

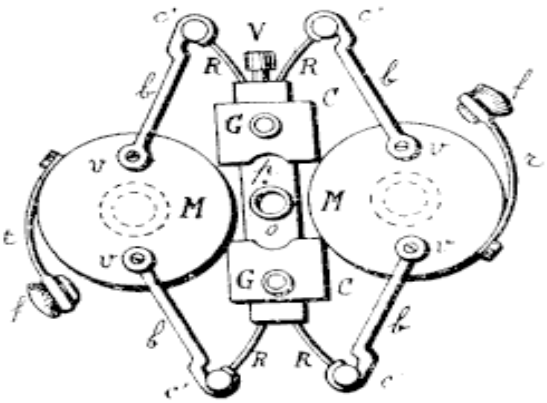
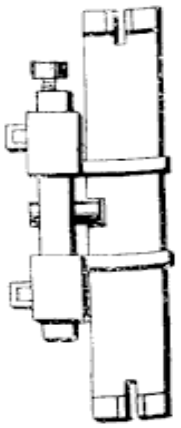


Fig. 130. — Régulateur Kœck, vu d'avant

Le régime qu'on obtiendra ainsi dépendra de l'énergie des ressorts : plus ceux-ci s'opposeront à l'écartement des masses, puis il faudra que la vitesse soit grande pour que la force centrifuge puisse leur faire échec. Le réglage consistera donc à faire varier la tension des ressorts pour obtenir un changement de la vitesse : c'est dans ce but que les coulisseaux C ont été rendus mobiles; on conçoit, en effet, que, plus on les éloignera du centre, plus on réduira la longueur de la partie flexible des ressorts et plus ceux-ci seront tendus.


Fig. 131.

Il ne reste maintenant qu'à obtenir les déplacements convenables des coulisseaux, pour atteindre la vitesse désirée. A cet effet, dans le fond de la boîte du régulateur est placée une pièce en acier, *a* (fig. 132), mobile dans une glissière et susceptible d'être manœuvrée de l'extérieur à l'aide d'un bouton moleté, K, agissant sur un pas de vis, V', solidaire de la pièce *a*, qu'on fera monter en tournant le bouton dans le sens des aiguilles d'une montre, et inversement; une ouverture suffisante, O, est d'ailleurs pratiquée dans la plaque *a* pour laisser passer librement l'axe, *o*, quelle que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soit la position de la dite plaque. Le rebord inférieur de cette ouverture est garni d'une sorte de came circulaire, X : lorsque le régulateur est en mouvement, les petits galets, G, (fig. 130), solidaires des coulisseaux C, viennent passer entre cette came X et un épaulement Y. On voit donc que, lorsqu'on déplacera la plaque *a*, à l'aide du bouton K, les galets G, pour passer de nouveau entre X et Y, devront se placer également : si ce mouvement a lieu vers le centre, les ressorts seront détendus et la vitesse diminuée; et inversement.

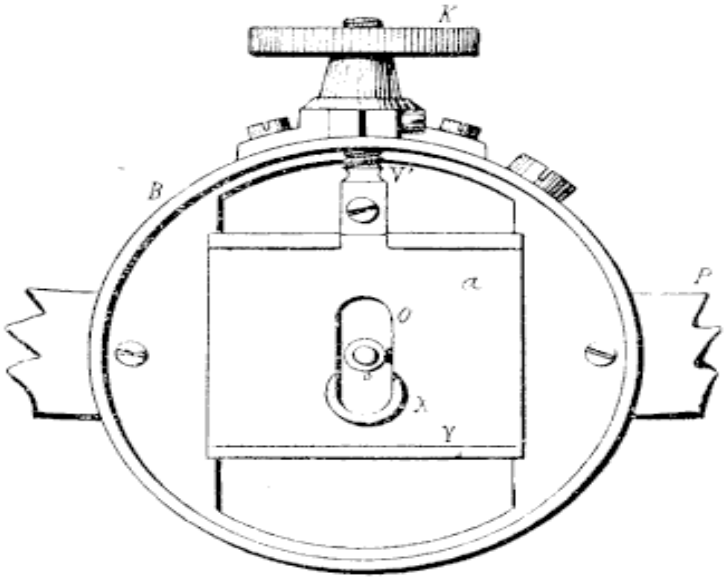


Fig. 132. — Régulateur Koch. Boîte.

Nous indiquerons, le moment venu, le réglage de toutes ces pièces; mentionnons toutefois, dès maintenant, deux particularités intéressantes : tout d'abord, on voit que le bouton K ne doit être manœuvré *qu'en marche*; en effet, si on déplaçait les cames X et Y avant que l'appareil fût en mouvement, le premier des deux galets, G, qui les rencontrerait se calerait et empêcherait le démarrage; corollairement, on ne doit actionner le bouton que progressivement, afin de permettre aux dits galets de suivre le déplacement des cames. La seconde particularité est celle-ci : lorsqu'on cesse de tourner le bouton K, on entend un ronflement continu, qui provient d'un petit choc, à chaque tour des galets contre celle des cames qui les a poussés; il est bon de le faire disparaître en revenant très légèrement en arrière jusqu'à ce que tout bruit ait cessé : cela indique alors que les galets passent sans frottement appréciable entre les cames X et Y.

Ajoutons que, pour faciliter le montage et le démontage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du régulateur, la boîte cylindrique est percée d'un trou qui permet d'y passer le tournevis et d'atteindre la vis de fixation, V ; ce trou est normalement obturé à l'aide d'une petite pièce en acier qu'on peut faire glisser à volonté pour démasquer l'ouverture.

Le régulateur Koch, tel que nous venons de le décrire, est capable de donner toutes les vitesses comprises entre 120 et 180 tours par minute de l'axe du chariot ; on peut reporter ces limites à 100 et 160 tours en fixant sur les masses une rondelle supplémentaire, ce à quoi sont destinées les vis centrales *z* (fig. 129) ; la force centrifuge étant proportionnelle à la masse (v. p. 12) on conçoit que, plus celle-ci sera lourde, plus, pour une tension de ressorts donnée, on atteindra tôt l'accélération pour laquelle la force centrifuge sera capable d'éloigner la masse du centre. Inversement, si on allégeait la masse, il faudrait une vitesse plus grande pour atteindre la même valeur de force centrifuge que précédemment.

Enfin la boîte cylindrique est fermée, du côté de l'arrière, par un disque de mica, qui protège le régulateur contre la poussière, tout en permettant, grâce à sa transparence, de se rendre compte du fonctionnement et, en particulier, des fluctuations qui font subir à l'amplitude les différentes combinaisons transmises ou reçues.

RÉCAPITULATION

Régulateur Hughes. — Il est basé sur l'isochronisme des oscillations d'un pendule conique ; on déplace la boule sur la tige, pour faire varier la durée des oscillations, durée qui est d'autant plus grande que la boule est plus éloignée du point d'encastrement. Le frein n'est qu'un complément du pendule : il dépense en frottements les excédents de force, afin d'empêcher le pendule d'atteindre la limite d'amplitude à partir de laquelle le travail moléculaire de la tige n'est plus proportionnel au rayon décrit par la boule.

Points communs à tous les systèmes. — Si l'on considère la tige Hughes, non plus comme un pendule, mais comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un simple ressort, dont la résistance à la torsion s'oppose à l'action de la force centrifuge sur la boule, on peut dire que les deux autres systèmes ne sont, avec des dispositifs différents, que la transformation du régulateur Hughes; dans chacun d'eux, nous trouvons l'avantage d'un équilibre constant, établi entre deux masses tournant dans des positions diamétralement opposées, mais ces masses sont, comme la boule unique du premier, sollicitées, en marche, par deux forces contraires : l'élasticité des ressorts, qui tend à les maintenir vers le centre, et la force centrifuge, qui agit pour les en éloigner; de l'intensité de ces deux actions opposées dépend le moment où, le frotteur entrant en fonction, la limite d'accélération est atteinte et le régime définitif établi.

Régulateur Siemens et Halske. — En déplaçant les boules sur leurs tiges, on fait varier le bras de levier au bout duquel la force centrifuge fait échec à la résistance des ressorts : plus ce bras de levier sera court, plus il faudra que l'appareil ait accéléré son mouvement pour que la force centrifuge devienne capable d'amener les frotteurs au contact de la cuvette.

Régulateur Koch. — La flexion des ressorts s'opérant aux points où les chapes des coulisseaux exercent leur pression, un changement de position de celle-ci amène une modification de l'énergie avec laquelle les ressorts s'opposent à l'écartement. Lorsqu'on éloigne les chapes du centre, on raccourcit, en quelque sorte, les ressorts : la force centrifuge n'équilibrant plus la tension de ceux-ci, les frotteurs abandonnent la cuvette, par suite du retour des masses vers le centre; la vitesse augmente; les dites masses reprennent progressivement leur amplitude jusqu'au point où la friction sur la cuvette est rétablie. L'écartement des boules est le même à toutes les vitesses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XII

SYNCHRONISME

Imperfection des régulateurs. — De tous les systèmes de régulateurs, que nous venons d'examiner, aucun ne nous donnera l'isochronisme absolu : la force centrifuge, dont les variations déterminent le fonctionnement du système compensateur, n'interviendra pour conjurer le mal, que lorsqu'il se sera déjà manifesté. Si minime qu'ait pu être la perturbation, si rapidement efficace que soit l'action du régulateur, le régime n'en a pas moins été altéré. D'où il suit que, si nous mettons en relations deux appareils dont le mouvement, bien que très près de l'uniformité absolue, n'est cependant pas parfaitement isochrone, nous ne pourrons pas empêcher des écarts de se produire et si, après nous être efforcés de leur donner la même vitesse, nous les laissons ensuite tourner librement, nous n'obtiendrons jamais qu'au bout d'un certain temps l'un d'eux n'ait fait au moins une fraction de tour de plus que l'autre.

Or, si nous considérons que la roue des types est divisée en 56 parties et se meut à la vitesse moyenne de deux tours par seconde, nous voyons que les caractères défilent devant la bande à un intervalle de 1 /112 de seconde les uns des autres. Un retard ou une avance de 1 /56 de tour ou de 1 /112 de seconde, suffirait donc pour que la bande de papier fût projetée sur le caractère précédent ou sur le suivant.

Ceci nous montre l'importance de la rectification opérée, à chaque impression, par la came sur la roue correctrice, et dont nous avons exposé le mécanisme (p. 124); la roue des types, repérée grâce au rappel au blanc, par rapport au chariot transmettateur,ne tarderait pas à être,avec celui-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ci, en désaccord complet, si les écarts inévitables dont nous venons de parler n'étaient effacés à des intervalles très rapprochés. Si, par exemple, le synchronisme était parfait, la came correctrice s'engagerait, sans frottement appréciable, dans le creux qu'elle doit remplir, exactement comme une dent d'engrenage ordinaire, et ne servirait qu'aux fonctions plus secondaires que nous avons énumérées (p. 138) : mise en marche après le rappel au blanc, calage de la roue des types, au moment de l'impression, inversion, interruption du circuit des bobines après le soulèvement de l'armature. Mais il n'en est jamais ainsi, pour les raisons que nous venons d'indiquer et pour d'autres aussi, que nous examinerons plus loin. Si *a* et *b* (fig. 131) sont les deux points où devraient se trouver les dents, entre lesquelles la came va, à un certain moment, s'engager, les dites dents pourront être, par suite d'avance, en *c* et *d* ou bien, s'il y a retard, en *e* et *f* (fig. 132) ; dans le premier cas, une partie du caractère aurait dépassé la verticale, au moment où le papier serait projeté et le côté droit de la lettre serait, seul, imprimé ; dans le second, on n'aurait, sur la bande, que la partie de gauche, l'autre n'étant pas encore arrivée sur la verticale. Il importe donc que la came de correction fasse perdre au caractère son avance ou lui permette de regagner son retard, *avant* que le barillet soit soulevé.



Fig. 131.



Fig. 132

Nous avons vu, en effet (p. 147), que, de toutes les cames, celle qui nous occupe entre la première en fonctions : si la dent d'avant est en retard, elle la pousse et détermine le glissement du cliquet sur le rochet de frottement ; si la dent d'arrière est en avance, elle l'immobilise pour passer, obligeant ainsi l'assiette de la roue de frottement à tourner sans celle-ci, retenue qu'elle est par le cliquet ; en un mot, tant que l'écart ne dépassera pas une limite que nous allons indiquer, il sera rectifié par la came et le caractère se présentera

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'impression comme si le synchronisme n'avait pas été altéré. Une semblable rectification étant opérée à des intervalles suffisamment courts, on pourra conserver indéfiniment l'accord nécessaire pour que les signaux imprimés correspondent bien à ceux qu'à l'autre poste on a voulu transmettre. Il suffira, pour cela, que les vitesses se rapprochent suffisamment l'une de l'autre, afin que les écarts à rectifier n'atteignent jamais une valeur de 1 /56 de tour : dans ce cas, en effet, l'arête de la came viendrait buter contre la pointe de la dent et un choc se produirait, qui pourrait arrêter net l'appareil et provoquer des dégâts.

Ce dernier cas, toutefois, sera extrêmement rare; la taille en arête vive des deux pièces en présence, came et dent, le rend presque improbable, aussi longtemps, tout au moins, que la came et la dent conservent l'acuité nécessaire. Il suffit, en effet, d'une très petite quantité en moins ou en plus pour que la came glisse d'un côté ou de l'autre de la dent : si l'écart est inférieur à 1 /56, la correction s'effectuera; s'il est supérieur à cette fraction de tour, la came s'engagera dans le creux précédent ou suivant, selon le sens; mais, à partir de ce moment, et quelque peu importantes que puissent être les erreurs ultérieures, l'accord entre les deux appareils sera rompu : il y aura « déraillement », suivant l'expression consacrée. Par exemple, si cette correction anormale se produit entre le D et l'O du mot *donner*, on recevra sur la bande : *dpoofs* ou bien *dnmmdq*, soit, dans le premier cas, les lettres suivantes, dans l'ordre alphabétique, parce qu'une avance supérieure à 1 /56 a fait pénétrer la came dans le creux suivant; et inversement pour le second.

Il faut alors interrompre la transmission, rappeler au blanc et reprendre au mot « déraillé ».

Variations dans le moment du soulèvement de l'armature. — A toutes les causes que nous venons d'énumérer, et qui rendent indispensable la correction périodique de la roue des types, viennent s'en ajouter d'autres, dont il faut également tenir compte : nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voulons parler des perturbations que les influences de la ligne apporteront dans la régularité du fonctionnement de l'électro-aimant.

Entre le moment où la lèvre du chariot rencontre un goujon et celui où le signal est imprimé à l'arrivée, il s'écoule forcément un certain temps : le courant doit se propager sur la ligne, puis agir sur l'armature, qui ne se soulève que lorsque le débit a acquis une certaine intensité; ensuite, l'embrayage de l'arbre des cames s'opère et ce n'est qu'après un quart de tour que la came correctrice commence à agir. Cette dernière partie du travail, exclusivement mécanique, s'effectue toujours dans le même temps : nous l'appellerons le *retard normal*; si la première était, de même, toujours d'égale durée, nous l'engloberions dans la même catégorie et n'en tiendrions pas compte, attendu que la première émission, qui a fait partir du blanc la roue des types rappelée, aurait subi le même retard que toutes les suivantes; pour que celles-ci fussent traduites convenablement, il suffirait que l'armature se soulevât à des intervalles égaux à ceux qui les ont séparés au départ.

Mais il n'en est généralement pas ainsi. Nous avons montré (p. 92) comment l'électro-aimant polarisé se trouve, par suite de la sensibilité qu'on peut lui donner, moins influencé que ne le serait un électro-aimant ordinaire par les variations inévitables qui se produiront dans l'intensité du courant à l'arrivée; mais il est impossible de le soustraire complètement à l'action perturbatrice de ces variations. D'une émission à l'autre, les conditions électriques de la ligne peuvent changer; tel signal a été retardé par une influence de sens contraire, le suivant s'est vu favoriser par une autre, de même sens que lui.

De même que, pour ce qui concerne les irrégularités résultant de l'imperfection des régulateurs, la dent de la roue correctrice pourra se trouver, tantôt en avant, tantôt en arrière du point qu'elle occuperait si le synchronisme était absolu; de même, si nous considérons le moment où l'armature se soulèverait, avec une ligne soustraite à toute

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

espèce d'influence extérieure, nous la verrons, dans les conditions ordinaires, enregistrer les signaux un peu plus tôt ou un peu plus tard.

Il découle de là que, même si les régulateurs donnaient aux appareils un isochronisme parfait, il y aurait lieu de conserver à la came correctrice son rôle rectificateur; les figures 131 et 132 peuvent s'appliquer au dernier cas, tout comme au premier : si l'accord entre les deux appareils est complet, c'est-à-dire si les dents de la roue correctrice se trouvent exactement en *a* et *b* au moment où l'armature devrait se soulever, un retard dans l'action de celle-ci permettra aux dents de s'avancer jusqu'en *c* et *d* : la came correctrice devra leur faire perdre cette avance, pour que le caractère s'imprime nettement. Inversement, si un soulèvement trop hâtif permet à la came correctrice de rencontrer la roue alors qu'elle n'est encore qu'en *e* et *f*, la première poussera la seconde devant elle et l'amènera instantanément en *a* et *b*.

La came correctrice a donc, ici, *rompu un accord existant* entre les deux appareils, pour masquer une irrégularité dans le fonctionnement de l'électro-aimant : la rectification intempestive, ainsi opérée, aura inévitablement une répercussion sur la correction suivante : en supposant le cas idéal où l'appareil et l'électro se trouveraient n'avoir subi aucune perturbation, la came devra quand même agir sur la roue, pour lui faire regagner le retard ou perdre l'avance qu'elle lui avait précédemment donnés.

S'il est vrai que ce cas idéal ne se produira pas, il est également incontestable que les écarts imputables au mouvement des rouages pourront s'ajouter à ceux qui incombent à l'électro-aimant et rendre, ainsi, plus laborieuse l'action de la came correctrice. Et comme la somme de ces deux irrégularités ne doit pas, sous peine de « déraillement », atteindre une valeur de 1/56 de circonférence de la roue correctrice, nous voyons combien étroites sont les limites dans lesquelles la correspondance sera assurée convenablement, et quel intérêt nous aurons à réduire au strict mini-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mum les chances de désaccord entre les deux appareils; cela par un entretien et un réglage minutieux des régulateurs et des électro-aimants.

Nous indiquerons plus loin la façon méthodique de procéder à ces mises au point; pour ce qui concerne spécialement le régulateur Hughes, nous savons déjà que nous devrons maintenir l'amplitude de la boule dans les limites convenables, en disposant le frein en conséquence; quant à l'électro-aimant, le réglage que nous lui appliquerons découlera des principes que nous avons exposés (p. 94); nous lui donnerons le maximum possible de sensibilité, par un équilibre convenable de la force magnétique et de la tension des ressorts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIII

MOTEURS ET DYNAMOS A COURANT CONTINU

Avantages des remontoirs automatiques. — La nécessité de maintenir, par la manœuvre périodique de la pédale, le poids moteur suspendu au-dessus du sol, n'est pas sans inconvénients : la dépense de force, imposée à l'opérateur, est, il est vrai, assez minime, à cause du jeu de leviers que représente l'ensemble du remontoir à pédale (v. p. 160), mais l'opération du remontage doit se répéter à des intervalles assez rapprochés, qui dépendent, évidemment, de la vitesse donnée par le régulateur. Pour un appareil dont la roue des types tourne à 2 tours par seconde, le poids, amené à son maximum d'élévation, arrive à toucher le sol au bout d'un temps qui ne dépasse guère 3 minutes.

A la transmission, l'employé, assis devant la table de l'appareil, le pied droit tout naturellement posé sur la pédale prend rapidement l'habitude d'agir sur celle-ci sans interrompre sa manipulation ; mais il n'en est pas de même à la réception où, installé sur la gauche de l'appareil, il doit se déranger, toutes les 3 minutes, au moins, pour remonter le poids : la perte de temps, qui en résulte, n'est pas sans répercussion sur le rendement de l'appareil et se traduit par des intervalles plus ou moins longs entre la fin de la transmission dans un sens et le commencement dans l'autre. On n'évite ce ralentissement du travail qu'en faisant desservir les postes chargés par deux agents affectés exclusivement l'un à la transmission, l'autre à la réception et au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

collationnement; alors que, dans beaucoup de cas, un seul pourrait suffire.

Enfin, dans les bureaux, de plus en plus nombreux, où le personnel féminin représente une fraction importante de l'effectif total, ce dernier moyen, tout dispendieux qu'il est, reste encore défectueux, l'endurance physique de ce personnel étant évidemment restreinte.

Pour toutes ces raisons, l'Administration a depuis longtemps recherché les moyens de généraliser l'emploi de remontoirs automatiques; un certain nombre de systèmes, actuellement en usage, donnent d'excellents résultats, et, en évitant au personnel une fatigue appréciable, permettent en outre de l'utiliser dans de meilleures conditions.

Différents systèmes de remontoirs automatiques. — Les dispositifs adoptés dans les différents bureaux, où le remontage des poids s'effectue automatiquement, dépendent des moyens dont on y dispose. On peut les grouper en trois catégories :

1° Les *remontoirs électriques*, à l'aide desquels de petites dynamos agissent, comme réceptrices, sur un mécanisme approprié;

2° Les *remontoirs pneumatiques*, auxquels la force motrice est fournie par l'air comprimé;

3° Les *remontoirs hydrauliques*, utilisés seulement dans un petit nombre de postes et que nous ne citons que pour mémoire.

Enfin, l'Administration a essayé différents types de moteurs électriques, appliqués directement sur l'arbre volant, sans l'intermédiaire du poids. Bien que ne constituant pas, à proprement parler, des « remontoirs », ils concourent au même but que ceux-ci et peuvent, par suite, trouver place dans cette énumération.

Théorie générale des moteurs électriques. — Les moteurs électriques sont des machines destinées à fournir du mouvement lorsqu'on les fait parcourir par un courant, autrement dit, qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les premières machines de ce genre utilisaient l'attraction d'un électro-aimant sur une armature, pour mettre en mouvement une bielle, articulée sur une manivelle, comme celles qu'on trouve dans les machines à vapeur : le mouvement alternatif de la dite armature était, ainsi, transformé en mouvement continu. Mais le rendement faible de ces sortes de moteurs les fit bientôt abandonner, dès que fut imaginé un autre dispositif, donnant directement la rotation continue d'un organe mobile, sans l'intermédiaire d'aucune pièce mécanique.

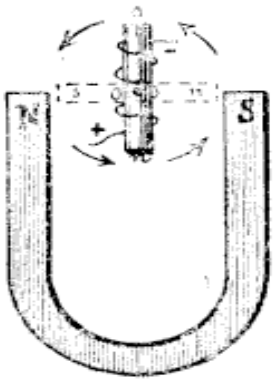


Fig. 133.

Le principe commun aux moteurs électriques actuellement en usage, réduit à sa plus simple expression, peut se résumer ainsi : entre les pôles, N, et S, d'un aimant permanent (fig. 133), plaçons sur un axe mobile, O, une bobine d'électro-aimant ordinaire et faisons passer, dans cette bobine, un courant dirigé dans un sens tel qu'il développe, à la partie supérieure du noyau, un pôle sud et, à l'autre extrémité, un pôle nord : celui-ci sera repoussé par le pôle de même nom de l'aimant permanent et attiré par le pôle de nom contraire; il en sera de même pour le pôle sud de la partie supérieure du noyau. Les flèches, qui indiquent le sens de ces actions, montrent également que celles-ci sont concordantes et tendent toutes à faire basculer la bobine autour de son axe, en sens inverse des aiguilles d'une montre : l'électro-aimant viendra donc se placer horizontalement, entre les deux branches de l'aimant permanent; dans cette position, les attractions réciproques, aux points extrêmes du noyau, s'annuleront et l'axe restera immobile.

Pour obtenir la continuation du mouvement, il faudra, au moment où la bobine arrivera dans cette position horizontale, que nous appellerons le *point mort*, inverser la direction du courant, de manière à développer un pôle sud là où il y avait précédemment un pôle nord, et réciproquement;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la vitesse acquise fera franchir à la bobine le point mort et aussitôt, des pôles de même nom, se trouvant en présence se repousseront (fig. 134); la bobine tournera et, au fur et à mesure que s'affaiblira la répulsion d'un côté, l'attraction, des pôles de noms contraires ira en augmentant et la bobine fera un demi-tour sur son axe, pour venir se caler, de nouveau, au point mort. Si, à ce moment, on inverse, de même la direction du courant, le mouvement se continuera dans des conditions identiques.

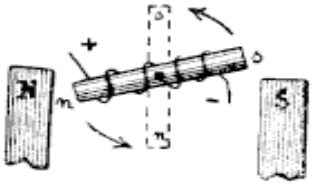


Fig. 134.

Collecteur. — De ce qui précède, il résulte que, pour obtenir la rotation continue de la bobine, il suffira de changer, à chaque demi-tour et au moment où celle-ci arrive au point mort, le sens du courant; cette fonction sera remplie par un commutateur automatique appelé *collecteur*.

Le collecteur se compose d'un cylindre métallique, coupé en deux parties égales, suivant des génératrices diamétralement opposées; ces deux demi-cylindres, ces *coquilles*, isolées l'une de l'autre par un manchon d'ébonite, sont montées sur l'axe de la bobine et tournent avec lui; l'une des coquilles, C (fig. 135), est reliée en permanence avec l'extrémité E, du fil de l'électro-aimant, l'autre C', avec le bout opposé, S', du circuit. Sur le collecteur s'appuient, aux deux extrémités d'un même diamètre, deux « balais » B et B', formés de faisceaux de fils métalliques et reliés respectivement aux deux pôles d'une pile.

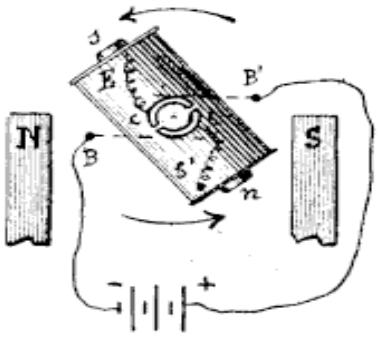


Fig. 135.

Dans la positon qu'indique la figure 135, le courant, venant du pôle positif par le balai B', entre dans la bobine par l'extrémité E, sort par l'autre bout, S', et, par la coquille C' et le balai B, va rejoindre le pôle négatif de la pile. Mais dès que la bobine arrivera au point mort et, par la vitesse acquise, le franchira, les balais B et B', se trouveront, res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pectivement, sur les coquilles C et C' : le courant entrera en S', sortira en E : les polarités seront inversées et le mouvement continuera. Après un demi-tour, nouveau renversement, qui rétablira les choses comme elles sont actuellement, et ainsi de suite.

Calage des balais. — Dans la réalité, ce n'est pas au moment où la bobine arrive au point mort, que le sens du courant doit être inversé : il faut tenir compte du temps qu'à chaque demi-révolution le noyau mettra à passer d'une polarité à l'autre. Or, comme il est indispensable que cette action soit terminée au moment où les extrémités arrivent en regard des pôles de l'aimant, sous peine de donner à la bobine une tendance à se caler au point mort, il faudra inverser le courant *un peu avant* l'arrivée à ce point. A cet effet, les balais, au lieu de s'appuyer sur les deux points situés sur la même verticale, seront rejetés *en arrière*, par rapport au mouvement du collecteur; leur rencontre avec les coquilles se fera ainsi *plus tôt* (fig. 136).

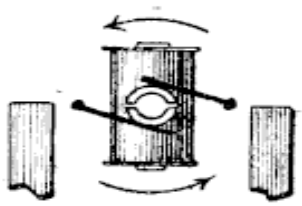


Fig. 136.

Il est à remarquer que le temps pendant lequel le noyau se désaimante, puis s'aimante en sens inverse, est *toujours le même*, quelle que soit la vitesse de la bobine. Il découle de là que, plus celle-ci sera animée d'un mouvement rapide, plus les balais devront être écartés de la verticale passant par l'axe. Corollairement, le maximum de vitesse, que pourra atteindre le moteur, toutes choses égales, d'ailleurs, dépendra de l'exactitude avec laquelle les balais seront placés.

Si le collecteur était mobile sur l'axe, on obtiendrait évidemment le même résultat en le déplaçant *dans le sens du mouvement* et en laissant les balais sur la même verticale.

Anneau Gramme. — Si, dans deux bobines, A et B, (fig. 137), de même résistance et de même enroulement, nous bifurquons le courant d'une pile, celui-ci se partagera, au point O, en deux parties égales; mais, comme son entrée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se fera par l'extrémité de droite de A, et par celle de gauche de B, les polarités qu'il développera dans les bobines occuperont des positions inverses, l'une par rapport à l'autre. Réunissons maintenant nos deux noyaux en un seul (fig. 138), en conservant le même enroulement, la bifurcation se fera, comme précédemment, au point O; les deux extrémités de notre noyau unique seront aimantées nord, les deux pôles sud, S et S', seront au milieu et, s'ajoutant, n'en feront qu'un seul. Nous aurons ainsi développé un *pôle conséquent*, qui sera la « conséquence » des deux actions contraires exercées, sur le même barreau de fer doux, par les deux circuits A et B. En divisant le fil en un certain nombre de bobines, bifurquées de la sorte, nous pourrions créer autant de pôles conséquents qu'il nous plairait.

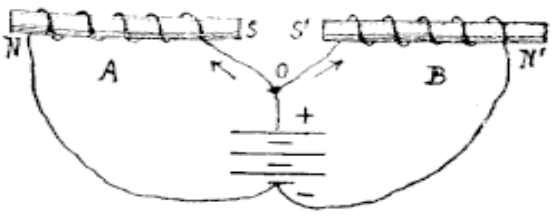


Fig. 137.

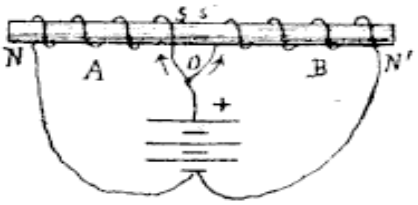


Fig. 138.

Courbons notre noyau et réunissons ses deux extrémités, de manière à en faire un anneau complètement fermé; enroulons sur cet anneau un fil également sans fin, en choisissant convenablement deux points de bifurcation, O et O' (fig. 139) que nous relierons aux pôles de la pile, nous déterminerons, dans l'anneau, deux « pôles conséquents », S et N, formés de la réunion des pôles que développerait séparément chacun des deux circuits A et B. La ligne neutre se trouvera sur le diamètre horizontal A B du noyau.

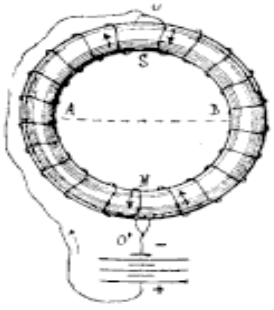


Fig. 139.

Nous sommes, là, en possession d'un électro-aimant annulaire, qui pourra avantageusement remplacer la bobine ordinaire, dans le genre de moteurs que nous venons de décrire (fig. 133 à 136). Il permettra, notamment, de sup-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

primer le point mort : il suffira, pour cela, de diviser le circuit total en un certain nombre de bobines, quatre, par exemple, et de relier l'entrée et la sortie de chacune d'elles respectivement à un nombre égal de coquilles de collecteur (fig. 140) les points *s* et *n*, qui sont actuellement le siège des polarités sud et nord, au lieu de parcourir, dans cet état, un demi-cercle, comme précédemment, n'en franchiront que la moitié: quand l'anneau aura tourné d'un quart de cercle, les balais quitteront les coquilles 1 et 3, pour s'appuyer sur 2 et 4 : les pôles seront aussitôt rejetés de 90° en arrière, et ainsi de suite, à chaque quart de tour. Plus le nombre de bobines et de coquilles sera grand, plus l'arc de cercle décrit par les pôles deviendra petit, et on pourra arriver à ce que ceux-ci restent sensiblement au même point de l'espace pendant toute la durée de la révolution de l'anneau. Lorsqu'on fermera le circuit, le moteur démarrera seul, tandis que le précédent, calé au point mort, devait recevoir une impulsion étrangère pour se mettre en marche.

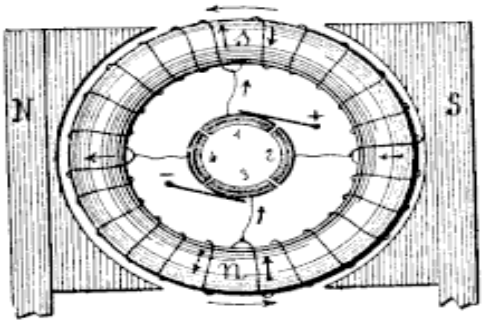


Fig. 140.

La multiplication du nombre des bobines réduit, en outre, au minimum l'inconvénient du court-circuit inévitable qui, précédemment, se répétait à chaque demi-tour, au moment où les balais, quittant l'une des coquilles pour passer sur l'autre, se trouvent à cheval sur les deux à la fois.

Enfin, par l'adjonction de plaques polaires, épousant la forme de la bobine annulaire, ou par une construction appropriée de l'aimant permanent, on développe considérablement les surfaces sur lesquelles se fait l'échange de lignes de force; un centrage rigoureux de l'anneau permet de ne laisser entre celui-ci et les plaques polaires qu'une couche d'air très mince et l'intensité du champ magnétique s'en trouve accrue. Toutes ces circonstances concourent à amé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

liorer, dans de notables proportions, le rendement du moteur.

Anneaux dentés. — Dans le but d'augmenter encore l'intensité du champ magnétique, quelques constructeurs emploient des *anneaux dentés*, tels que ceux imaginés par Pacinotti, Rechniewski, etc. ; au lieu d'enrouler le fil simplement à la surface d'un anneau de fer, on le place dans des rainures, pratiquées sur ce dernier (fig. 141). L'anneau est généralement constitué par la réunion de disques en tôle mince, entaillés comme des roues d'engrenage et séparés les uns des autres par des disques de papier. Cet isolement a pour but d'empêcher la production de *courants de Foucault*. On désigne ainsi les courants d'induction, qui se produisent dans toute masse métallique se déplaçant dans un champ magnétique. Ils ont une direction telle qu'ils s'opposent au mouvement qui les produit : en outre, par leur intensité, ils déterminent rapidement l'échauffement de l'anneau ; de là, deux inconvénients qui entraînent une grande perte d'énergie.

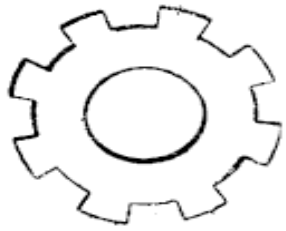


Fig. 141.

Tambour Siemens. — L'enroulement en tambour, imaginé, en réalité, par M. Helfner-Alteneck, Ingénieur de la Maison Siemens, diffère de l'anneau Gramme en ce qu'il est fait sur un cylindre en tôle recouvert de fil de fer doux et enveloppé d'une toile isolante (fig. 142). Le fil est enroulé suivant les génératrices du cylindre.



Fig. 142.

Ce dernier peut être aussi constitué, comme l'anneau denté, par des disques entaillés, genre Rechniewski, isolés les uns des autres. La figure 142 montre l'enroulement d'une bobine : le fil, partant de la coquille C, parcourt la génératrice *g*, puis celle diamètralement opposée et revient se souder à la coquille C', d'où part le fil, qui doit constituer la bobine suivante et ainsi de suite. Le circuit qui aboutit à la coquille placée à l'extrémité opposée du diamètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

recouvre forcément celui-ci, puisque chaque bobine s'étend sur deux génératrices du cylindre. Certains constructeurs ont, toutefois, modifié l'enroulement, de façon à éviter cette difficulté dans le bobinage et surtout dans le débobinage, en cas de réparation.

Réversibilité. — Les moteurs, dont nous venons d'indiquer le principe, sont « réversibles » : un courant électrique, envoyé dans leur circuit, les met en mouvement; mais, si l'on fait tourner la bobine à l'aide d'une force motrice quelconque, ils fournissent un courant électrique.

Cette propriété n'est pas spéciale au genre de machines qui nous occupe : ainsi, en dépensant de la chaleur, on obtient du mouvement; réciproquement, tout mouvement détermine une production de chaleur; ces deux phénomènes sont si intimement liés qu'on a pu établir « l'équivalent mécanique de la chaleur », c'est-à-dire la quantité de chaleur qui correspond à un travail donné. La réversibilité est une propriété très générale, mais les conditions dans lesquelles elle se présente ne la rendent pas toujours utilisable.

Générateurs mécaniques de courant continu. — L'étude détaillée des machines génératrices d'électricité ne pouvant entrer dans le cadre trop restreint de ce Cours, nous devons nous borner à l'indication sommaire des phénomènes principaux dont elles sont le siège, et, notamment, de ceux dont nous aurons à tenir compte dans le fonctionnement de ces machines comme moteurs.

Le principe de Faraday (v. p. 50) nous montre déjà que, si nous faisons tourner un anneau Gramme, par exemple, entre les pôles d'un aimant, les spires seront parcourues par des courants induits, à la condition, bien entendu, que le circuit soit fermé. Examinons dans quelles conditions ces courants seront engendrés et pourront être recueillis. Le schéma ci-après (fig. 143) nous donne une idée approximative du trajet des lignes de force, qui se déforment pour emprunter le milieu bon conducteur que leur offre l'anneau. Considérons une spire du fil enroulé autour de cet anneau; nous savons que la force électromotrice induite,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui pourra y être développée, sera proportionnelle au nombre de lignes de force qu'elle coupera dans un temps donné. Si nous prenons pour point de départ la position A, à la partie supérieure du diamètre vertical, nous voyons qu'en ce point, la spire ne coupe aucune ligne de force, d'où nous pouvons conclure que la force électro-motrice y est nulle; mais, dans son mouvement vers la droite, elle entrera bientôt dans le champ magnétique, pour en sortir en C : le nombre de lignes de force qu'elle coupera, dans ce trajet, et pendant une fraction de seconde déterminée, ira en s'accroissant jusqu'en B, maximum, puis en décroissant jusqu'en C où, de nouveau, elle se déplacera tangentiellement au champ. Dans la seconde moitié de la révolution, nous observons, de même, un accroissement progressif du nombre des lignes coupées (par rapport au temps) de C en D, un maximum en ce point et une décroissance de D en A.

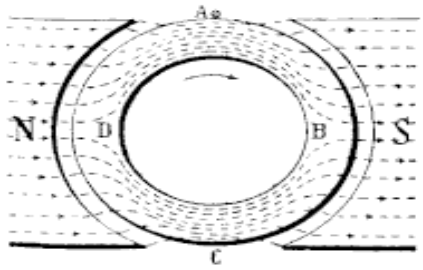


Fig. 143.

Ainsi donc, lorsque notre anneau fait un tour complet, nous observons que notre spire est le siège d'une force électro-motrice croissante de A en B, décroissante et de même sens de B en C, où elle devient nulle; puis, dans la seconde moitié, une force électro-motrice *inverse de la précédente*, croissante de C en D et décroissante de D en A, où elle retombe à zéro; l'inversion du sens de la f-é-m provient de ce que la spire envisagée coupe les lignes de force de haut en bas pendant la première moitié du tour et de bas en haut pendant la seconde.

Si nous mettions notre spire en relation *directe* avec un circuit extérieur, celui-ci serait parcouru par des courants *alternatifs*; nous nous occuperons plus loin de ce genre de courants; nous allons voir, pour l'instant, qu'ils peuvent être *redressés* par le collecteur, tel que nous l'avons décrit dans nos moteurs; en effet, considérons l'anneau ci-après (fig. 145) sur lequel sont enroulées quatre bobines, reliées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à un nombre égal de touches de collecteur; nous y trouvons la confirmation de ce que nous avons énoncé plus haut, à savoir que les courants circulant dans les deux bobines de droite ont une direction inverse de celle des courants qui parcourent les deux bobines de gauche; or, l'anneau, à lui seul, formant un circuit complet, les courants engendrés dans l'une de ses moitiés devraient annuler ceux qui se développent dans l'autre moitié. C'est, en effet, ce qui se produit, lorsque l'anneau tourne *à circuit extérieur ouvert*; mais les balais frottant, sur le collecteur, dans la zone neutre du système induit et leur circuit étant fermé par un conducteur extérieur, les actions des deux demi-anneaux s'ajoutent, comme celles de deux piles montées en quantité (v. p. 34).

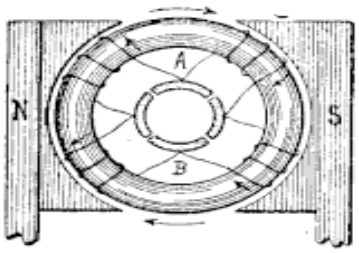


Fig. 145.

En comparant les figures 140 et 145, on voit que, si on fait passer, dans un anneau employé comme moteur, un courant *de même sens* que celui qu'il engendre, quand il est générateur, il tournera *en sens inverse* du mouvement qui produirait ce courant.

Machines magnéto et dynamo-électriques. — Les machines génératrices d'électricité sont classées en « magnéto » et en « dynamo-électriques », suivant que le champ magnétique inducteur est fourni par un aimant permanent ou par un électro-aimant. Ce dernier offre l'avantage d'occuper, à puissance égale, un espace considérablement moindre; en outre, l'aimant permanent s'affaiblissant, à la longue, a besoin d'être, de temps en temps, réaimanté.

Quelle que soit la catégorie à laquelle il appartient, l'organe qui fournit le champ magnétique s'appelle l'inducteur; celui dans lequel l'électricité est engendrée, anneau ou tambour, — prend le nom d'induit. Les dynamos se distinguent encore suivant le mode employé pour fournir le courant qui « excite » l'électro-aimant inducteur :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Celles dans lesquelles ce courant est produit par une source quelconque, autre que la machine elle-même : elle sont dites *à excitation indépendante;*

2° Celles qui emploient, en tout ou en partie, le courant engendré dans l'induit pour produire le champ magnétique : on les appelle *auto-excitatrices*. Si le courant, avant de se rendre dans le circuit extérieur, passe d'abord en totalité dans l'électro-aimant inducteur : c'est l'excitation *en série*; on emploie alors du fil assez gros et de peu de longueur, afin de n'absorber, pour l'excitation, qu'une faible partie de la force électro-motrice engendrée dans l'induit. Ou bien une partie seulement est dérivée dans l'inducteur : on dit, dans ce cas, que la machine est excitée *en dérivation*; le fil de l'inducteur est alors fin et long, de manière à ne prendre que le minimum de débit pour l'excitation. Avec l'excitation en série, la force électro-motrice *croît* avec le débit extérieur, puisque la totalité du courant augmente de plus en plus, jusqu'à saturation, l'aimantation de l'inducteur; avec l'excitation en dérivation, au contraire, la force électro-motrice *décroît* lorsque le débit extérieur augmente. Lorsqu'on veut maintenir constante la force électro-motrice, quel que soit le débit, on emploie l'excitation *compound*, qui est la combinaison des deux modes précédents : l'inducteur est entouré de deux circuits : l'un en fil gros, et court, placé en série, l'autre fin et long, en dérivation.

Lorsqu'on met en marche une dynamo auto-excitatrice, le peu de magnétisme qui, à cause des impuretés du fer, est resté dans les noyaux, détermine d'abord un courant très faible; mais celui-ci renforce l'aimantation de l'inducteur, qui, réagissant à son tour, engendre un courant plus énergique, et ainsi de suite. C'est ce qu'on appelle l'*amorçage* de la machine, dont le débit va, de la sorte, en s'accroissant jusqu'à son régime normal. Il est à remarquer que les machines à excitation en dérivation ou compound peuvent, seules, s'amorcer à circuit ouvert; celles en série ne s'amorcent qu'à circuit fermé.

Force contre électro-motrice des moteurs. —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine dynamo-électrique ou génératrice ne diffère, en réalité, du moteur électrique ou réceptrice, que par le calage des balais : ceux-ci doivent, dans les moteurs, se trouver en arrière du mouvement (v. p. 194); dans les génératrices et pour la même raison d'inertie, on les place en avant.

Lorsque, sous l'action d'un courant, une réceptrice se mettra à tourner, elle deviendra immédiatement une dynamo et, par le déplacement de son induit dans le champ de l'inducteur, tendra à engendrer un autre courant, dont la direction sera inverse de celle du premier, et s'opposera, par conséquent, au passage de celui-ci. Prenons, par exemple, deux dynamos semblables et relions-les par un circuit fermé comprenant un galvanomètre; faisons tourner l'une comme génératrice, l'autre se mettra également en mouvement, sous l'action du courant engendré par la première. En examinant le galvanomètre — ou l'ampèremètre — on verra que le courant qui circule dans le circuit va en décroissant, au fur et à mesure que la réceptrice tourne plus vite : la force contre-électromotrice de cette dernière, augmentant avec sa vitesse, s'oppose de plus en plus à l'action de la génératrice. Si les deux induits pouvaient arriver au même régime, *aucun courant ne parcourrait le circuit*. Il n'en sera pas ainsi parce que, si peu importants qu'ils puissent être, les frottements absorbent toujours une certaine quantité de force; mais on peut dire que la dépense de courant sera *minima* lorsque la vitesse de la réceptrice sera *maxima*, bien que cette affirmation puisse, à première vue, paraître paradoxale.

En effet, faisons maintenant travailler la réceptrice : sa vitesse va immédiatement diminuer; sa force contre-électromotrice décroissant également, le galvanomètre accusera une augmentation de l'intensité du courant. Plus on chargera la réceptrice, plus le débit sera grand, plus la machine qui actionne la génératrice dépensera de vapeur pour maintenir cette dernière à son régime normal. Enfin, si on cale la réceptrice, de façon à l'empêcher de tourner, on aura le maximum de courant et aussi le maxi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mum d'effort de la machine a vapeur : la réceptrice ne sera plus, dans le circuit, qu'une résistance inerte, limitant l'intensité suivant la loi $i = \frac{e}{r}$ et tout le travail produit par la machine sera dépensé en chaleur.

Moteurs à courant continu. — On emploie pour le remontage des poids, divers genres de moteurs. Dans tous ceux à courant continu, nous trouvons une réduction de dynamo Gramme, auto-excitatrice, à inducteur et induit en série, c'est-à-dire que le courant passe, en totalité, dans le premier pour produire le champ magnétique, et dans le second pour engendrer le mouvement. La figure 146 nous montre l'ensemble de l'agencement : la culasse C, de l'inducteur, sert, également des socle et porte, isolées par l'ébonite, les deux bornes d'entrée et de sortie. A la partie supérieure, un petit commutateur C', posé sur une plaque d'ébonite, et que nous reproduisons en plan (fig. 147) permet de placer le moteur dans le circuit de la génératrice ou de l'en retirer, pour la mise en marche ou l'arrêt. L'inducteur est formé par deux bobines, B, (fig. 148) dont les noyaux sont réunis, à la base, par la culasse-socle C et prolongés, à la partie supérieure, par les pièces polaires, P, entre lesquelles tourne l'anneau Gramme. Ces dernières sont réunies et fixées invariablement l'une à l'autre par une

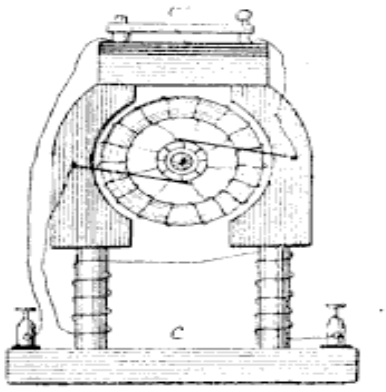
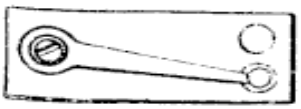


Fig. 146.


Fig. 147

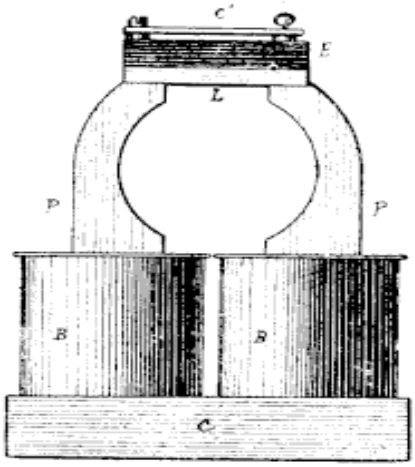


Fig. 148.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plaque en laiton, L, qui s'oppose à tout rapprochement comme à tout écartement. Sur cette dernière plaque en est fixée une autre, en ébonite, E, qui supporte le petit commutateur à manette, C'. Sur la face postérieure des pièces polaires est montée une joue en laiton, J (fig. 149), portant un palier, D, dans lequel passe l'axe de l'anneau; un petit réservoir à huile, ou graisseur, G, est placé sur le palier et sert à lubrifier l'axe. Une autre joue, J', fixée comme la première, J, à l'aide de vis taraudant dans l'épaisseur des pièces polaires, P, ferme, du côté antérieur, l'espace dans lequel tourne l'anneau, et est seulement percée d'une ouverture centrale, pour laisser passer le collecteur, E.

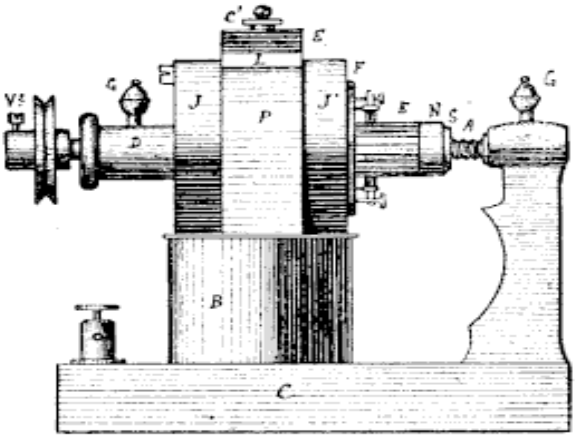


Fig. 149. — Moteur électrique.

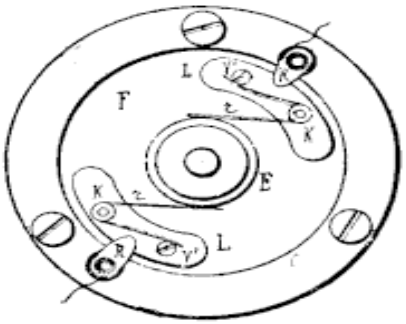


Fig. 150

Cette dernière joue, J', porte, en outre, une glissière destinée à guider le mouvement autour du collecteur, E, d'une pièce en ébonite, F (fig. 149 et 150), qui porte les balais et permet de les caler à la position qui convient le mieux (v. p. 194). Le disque d'ébonite, F, porte deux pièces oblongues, en laiton, L, sur chacune desquelles sont montés l'axe du balai et une vis de butée; le balai (fig. 151) se compose d'un canon, K, cylindrique, percé d'un trou central, qui permet de le placer sur son axe; dans une fente longitudinale, sont soudés les brins en cuivre du balai proprement dit; dans un méplat du canon

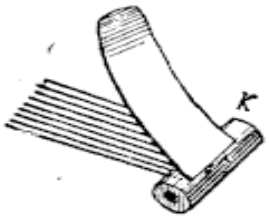


Fig. 151.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est encastré un petit ressort : lorsque le canon est engagé sur son axe et le ressort-lame, sous la tige de la vis, V, l'élasticité de ce dernier tend à amener les brins au contact du collecteur. La communication électrique est donnée au balai par de petits ressorts, R, montés sur des vis enveloppées d'ébonite, et auxquelles sont fixés également les fils allant à l'inducteur, ou au commutateur.

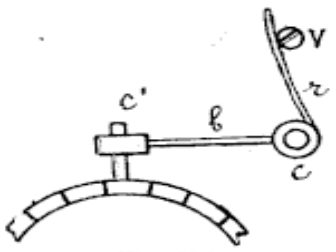


Fig. 152.

Ce genre de balai a l'inconvénient, en s'usant, d'épouser la forme circulaire du collecteur et de couvrir à la fois plusieurs touches, les mettant ainsi en court-circuit; on tend de plus en plus à remplacer les brins métalliques par un crayon de graphite : un canon C (fig. 152), enfilé sur un petit axe, porte un ressort *r* et un bras *b*; au bout de ce dernier est fixé un crayon C'; une vis V, obligeant le ressort à s'infléchir vers le collecteur, le crayon vient s'appuyer sur le pourtour de ce dernier : la pression est réglée par l'énergie du ressort, qu'on déforme dans un sens ou dans l'autre, suivant qu'il y a excès ou insuffisance d'appui.

Quoique meilleur que le précédent, ce système offre encore quelques inconvénients : au fur et à mesure que les frotteurs s'usent, les porte-charbon pivotent autour du point C et la branche *b* s'infléchit : il s'ensuit qu'au bout d'un certain temps, les deux charbons, inégalement usés, ne se trouvent plus aux extrémités d'un même diamètre, ce qui engendre des étincelles au collecteur. Même dans le cas où l'usure serait égale, il y aurait décalage des frotteurs (v. p. 194). Ce sont deux points sur lesquels il convient d'appeler l'attention, afin qu'on remédie à l'usure par un enfoncement progressif des charbons. Il n'est pas douteux que l'Administration adoptera tôt ou tard un dispositif, qu'on trouve dans les moteurs industriels, et qui est le suivant : un petit crayon méplat, C en charbon (fig. 153) est monté sur un ressort à boudin solidaire, lui-même, d'un manchon, M, celui-ci est engagé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans une glissière, placée dans la position convenable, par rapport au collecteur; une vis de pression immobilise le manchon dans la glissière, après qu'on a réglé convenablement l'appui du charbon sur le collecteur. Ce frotteur, formant avec la tangente, au point où il s'appuie, un angle assez ouvert, ne touche à la fois deux coquilles consécutives que dans le court passage de l'intervalle qui les sépare; en outre, la possibilité de régler la pression par le placement convenable du manchon M permet de réduire au minimum l'usure du collecteur.


Fig. 153

L'anneau M. (fig. 154) est placé sur un manchon en bois enfoncé lui-même sur un axe en acier AA'. Il est constitué par une couronne de fil de fer doux, sur laquelle le conducteur isolé est enroulé en une série de 16 bobines juxtaposées, réunies entre elles par l'intermédiaire du collecteur, E. Celui-ci se compose d'un nombre égal de touches en cuivre rouge, à chacune desquelles sont soudées l'entrée d'une bobine et la sortie de la précédente; les touches, isolées les unes des autres, sont montées sur un manchon de fibrine et maintenues par un écrou S. A l'extrémité opposée de l'axe, se monte une poulie (v. fig. 149) qui, à l'aide d'une courroie, transmet le mouvement au remontoir automatique.


Fig. 154.

Moteur Carpentier. — Afin de donner une idée des moteurs genre Siemens, mentionnés à la page 197, nous allons décrire sommairement le moteur magnéto-électrique Carpentier, déjà utilisé pour la mise en action des distributeurs Baudot, dans certains postes. Le rendement remarquablement avantageux de ce petit moteur et le faible débit qu'il exige permettent de l'actionner avec une simple batterie d'éléments Callaud.

L'inducteur est constitué par un faisceau de quatre aimants en fer à cheval, juxtaposés par leurs pôles de même nom; à l'extrémité de chacune des branches de ce faisceau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouve une pièce polaire, en fer doux, qui épouse la forme circulaire de la bobine de l'induit. Celui-ci est constitué par un tambour denté, genre Siemens-Rechniewski, formé par la réunion de disques en tôle de fer, séparés les uns des autres par des feuilles de papier paraffiné. Nous avons mentionné les avantages de ce dispositif, qui a pour but de réduire, autant que possible, la production des « courants de Foucault ».

L'axe de l'induit, en acier, est soutenu par deux paliers,

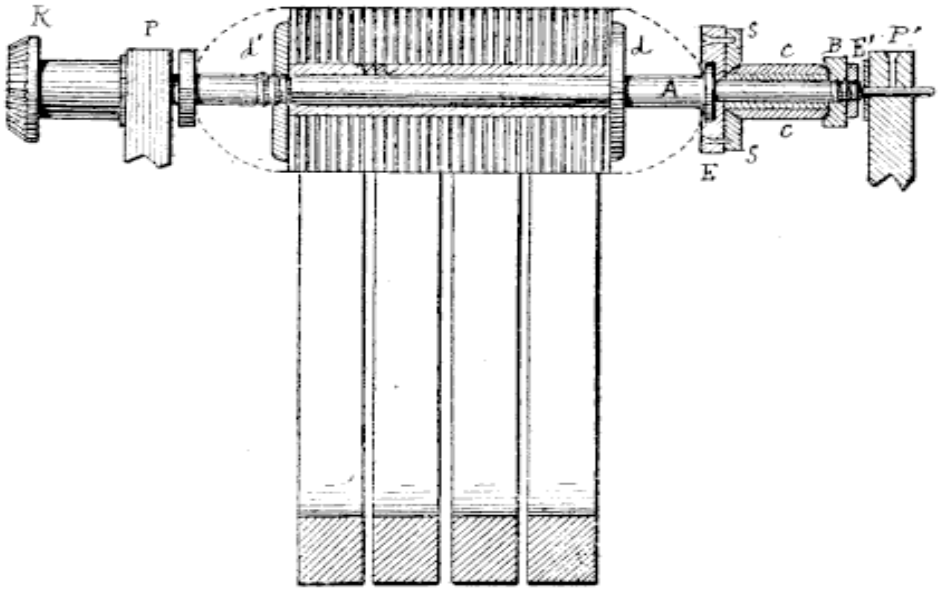


Fig. 155. — Moteur Carpentier (coupe).

P et P' (fig. 155), et porte, à l'une de ses extrémités, une roue dentée, R, disposée pour transmettre le mouvement. Vers la partie médiane et en face des pièces polaires, se trouvent deux disques en cuivre, destinés à servir de joues à la bobine; l'un des disques, *d*, est soudé sur l'axe; l'autre, *d'*, est simplement vissé; avant de placer ce dernier, on chausse, sur l'axe, à frottement dur, un manchon en bois, *m*, sur lequel on enfile les rondelles dentées, percées à cet effet, à leur partie centrale, d'ouvertures circulaires. Toutes ces rondelles présentent 16 entailles et 16 reliefs d'égale dimension, qu'on place de telle sorte que le cylindre unique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi formé soit entaillé d'un bout à l'autre, suivant les génératrices, de 16 rainures, dans lesquelles se fera l'enroulement du fil; ensuite, on serre la joue taraudée, d', qui, ainsi que la joue fixe, d, est entaillée comme les rondelles. Avant de placer le fil, on vernit le cylindre et on l'entoure d'une toile trempée dans la gomme laque, à laquelle on fait exactement épouser la forme des rainures.

Le diagramme ci-après (fig. 156) montre de quelle façon est fait l'enroulement : les projections des deux extrémités du cylindre sont superposées; la partie en traits pleins représente le côté du collecteur, celle en pointillé, le bout opposé. Les 16 rainures permettent d'effectuer 8 enroulements ou bobines; chaque entaille est reliée, non pas à l'entaille diamétralement opposée, mais à celle qui se trouve à droite de cette dernière; cette disposition facilite la construction, en évitant de faire contourner l'axe par les faisceaux de fil de chaque bobine; on empêche encore le foisonnement aux extrémités du cylindre en enroulant d'abord deux bobines voisines, et, par conséquent, parallèles, par exemple, 1-1', 5-5', puis deux autres dont la direction est perpendiculaire aux deux premières, 3-3', 7-7'. On voit également que, pour chaque bobine que l'on amènera, en faisant tourner le cylindre, à la partie supérieure (au point marqué 1'), l'enroulement est fait à droite de l'axe, en partant par la génératrice inférieure. Ce mode d'enroulement ne modifie d'ailleurs en rien le fonctionnement du moteur,

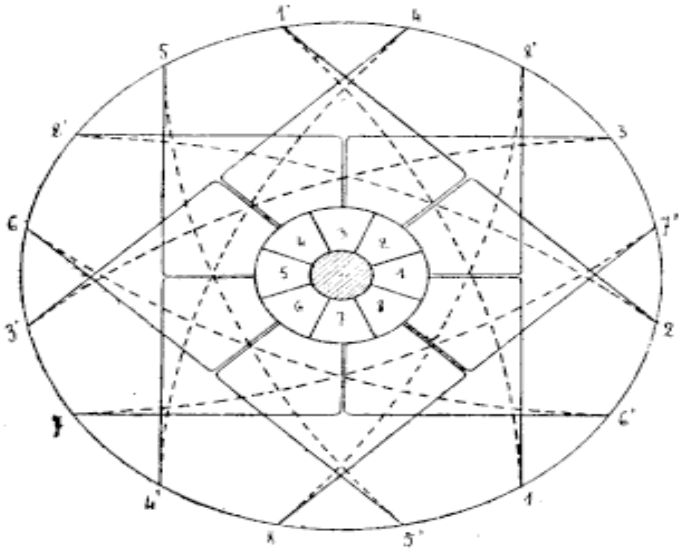


Fig 156

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tel que nous l'avons indiqué plus haut : le développement du cylindre et du collecteur (fig. 157) nous montre, en effet, que toutes les bobines concourrent au développement de deux pôles conséquents, N et S, exactement comme si elles agissaient chacune sur deux génératrices diamétralement opposées.

A la partie antérieure de l'axe A (fig. 155), se trouve un disque en ébonite, E, percé de 16 trous dans chacun desquels passe un fil d'entrée ou de sortie de bobine; sur ce disque sont fixés 8 secteurs en laiton, S, isolés les uns des autres et taillés en biseau vers l'axe. Sur chaque secteur

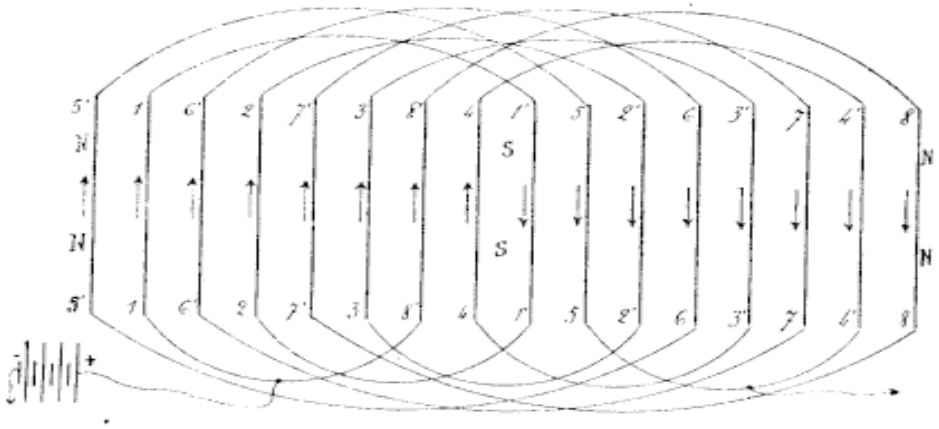


Fig. 157. — Développement du tambour.

sont soudées l'entrée d'une bobine et la sortie de la précédente. Le collecteur est formé de 8 touches, C, biseautées également et encastrées dans 8 cannelures, ménagées dans un manchon de fibrine, emboîté lui-même à frottement doux sur l'axe; les balais sont fixes et le calage se fait par le déplacement du collecteur. A cet effet, les touches, du côté de la bobine, se terminent par une partie plus étroite, qui vient s'emboîter sous les secteurs S et permet de modifier à volonté la position du collecteur, sans que chaque touche cesse de communiquer avec le secteur qui doit lui correspondre et avec celui-là seulement. Lorsqu'on a donné au collecteur la position qui convient, on l'immobilise à l'aide d'une bague de fibrine, B, que serre un écrou, E, vissant sur l'axe A.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIV

COURANTS ALTERNATIFS

L'administration a pensé à étendre le bénéfice du remontage automatique des poids à un certain nombre de postes actuellement dépourvus; or, dans beaucoup de villes, les Compagnies locales d'Electricité fournissent l'énergie sous la forme de courants alternatifs, simples ou polyphasés : il est donc nécessaire que nous examinions sommairement les nouveaux genres de moteurs qui conviennent en pareil cas. Nous ne pouvons évidemment songer à exposer ici, en entier, la théorie, très complexe, des courants alternatifs, ni celle, tout aussi ardue, des moteurs *synchrones* et *asynchrones*; notre seul but est d'en donner un principe suffisamment compréhensible pour les non-initiés et de faciliter ainsi l'assimilation des traités spéciaux qui, tout hérissés de formules et de diagrammes, rebutent souvent, au premier abord, les débutants.

Courants alternatifs simples. — Dans l'exposé du fonctionnement d'une dynamo à courant continu, nous avons indiqué (p. 199) que le courant engendré dans une bobine donnée, pendant son passage devant le pôle nord, par exemple, est inverse, comme direction, de celui qui la traverse lorsqu'elle passe devant le pôle sud, mais que ces deux courants sont *redressés* par l'artifice du collecteur divisé et des balais, de telle sorte qu'ils parcourent le circuit extérieur dans le même sens. Supposons que ce redressement n'ait pas lieu et que le collecteur soit constitué par deux bagues *non divisées*, isolées l'une de l'autre, bien

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entendu, et reliées respectivement aux deux bouts de la bobine, que, pour plus de simplicité, nous considérons comme unique (fig. 158). Nous voyons que, dans la première moitié du tour, le circuit extérieur sera parcouru dans le sens indiqué par les flèches (du balai x vers le balai y) ; dans la seconde moitié, au contraire, la force électromotrice étant inverse, le courant produit sera inverse et parcourra le circuit dans le sens de y vers x. Les choses se passent comme si ledit circuit était mis en communication avec une batterie positive, puis avec une batterie négative alternativement. La courbe représentative du phénomène est la sinusoïde ci-dessous (fig. 159). Nous sommes donc en présence de *courants alternatifs*, c'est-à-dire positifs de A en C avec maximum en B, négatifs de C en A', avec maximum en D et ainsi de suite. Ces courants sont parfois appelés aussi *ondulatoires*, *harmoniques*, *oscillatoires*, etc.

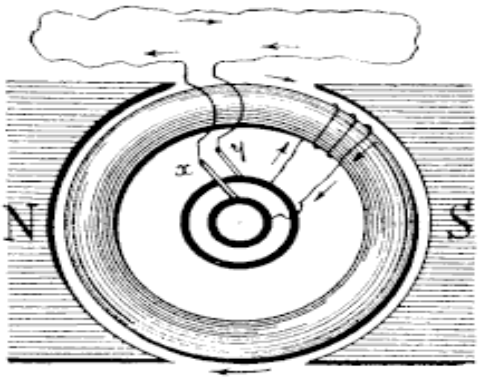


Fig. 158.

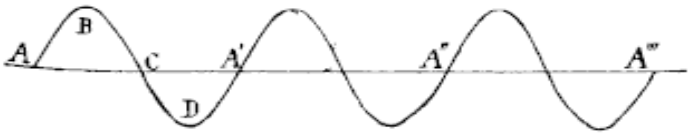


Fig. 159.

Période. — Fréquence. — On appelle *période* le temps que met une spire à passer d'un pôle à l'autre ou, si l'on préfère, le temps AA' (fig. 159) pendant lequel la force électromotrice, partie de zéro, est passée par les deux maxima positif, B, et négatif, D, pour revenir à zéro en A'.

La *fréquence* représente le nombre de périodes par seconde.

Alternateurs. — Les dynamos productrices de courants alternatifs sont aussi appelées « alternateurs ». Comme dans celles à courant continu, l'induit est un anneau Gramme ou un tambour Siemens; l'excitation peut être indépendante et fournie par une petite dynamo auxiliaire,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à courant continu, montée sur le même axe que l'alternateur; l'auto-excitation est parfois usitée : dans ce cas, il est nécessaire de *redresser* les courants alternatifs destinés à l'excitation à l'aide, par exemple, d'un collecteur spécial, inversant l'entrée et la sortie de l'inducteur en même temps que s'inverse la direction du courant.

Les alternateurs peuvent encore se classer en diverses catégories, suivant le nombre de pôles de l'inducteur: ou encore suivant qu'ils sont *monophases* ou *polyphases*.

Alternateurs bipolaires. — La machine qui nous a servi à expliquer la génération des courants alternatifs est du genre *bipolaire*. L'anneau complet est représenté par la figure 160 ci-contre; l'enroulement y est divisé en deux parties égales, dont les bouts sont reliés aux deux bagues collectrices. Sur chacune de ces bagues, frotte un balai, communiquant avec le circuit extérieur.

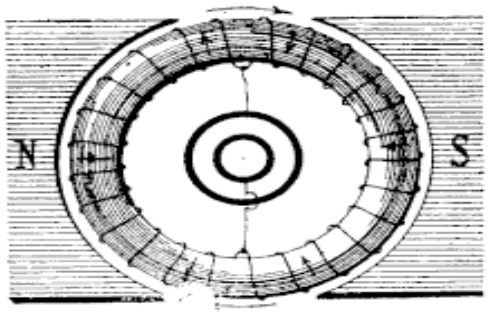


Fig. 160. — Alternateur bipolaire

Alternateurs multipolaires. — Les fréquences couramment employées varient entre 25 et 120, parfois 150 périodes par seconde; or, dans un alternateur bipolaire, une période complète correspondant à un tour entier de l'induit, il s'ensuit que la fréquence possible est limitée, car on ne peut indéfiniment augmenter la vitesse angulaire des machines; c'est cette considération, d'ordre mécanique, qui a conduit à construire des alternateurs *multipolaires*, dans lesquels l'inducteur comporte parfois un nombre considérable de pôles, alternativement nord et sud : le nombre de périodes, dans une révolution complète, est égal à celui des paires de pôles, et la fréquence s'obtient en multipliant ce nombre par la vitesse angulaire. La figure 161 donne une idée de ce genre de machines : 8 pôles agissent sur l'induit; celui-ci est constitué par un nombre égal de bobines enroulées alternativement *dextrorsum* et *sinistrorsum* ; en effet,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les courants engendrés par les pôles nord, par exemple, sur les quatre bobines impaires, doivent s'ajouter à ceux qui, au même instant, prennent naissance dans les bobines paires se trouvant près des pôles sud : or, ces actions s'annuleraient si l'enroulement était partout le même. Il va sans dire que, dans ce dernier cas, on ne serait pas contraint de modifier le bobinage : il suffirait d'intervertir l'entrée et la sortie d'une bobine sur deux, pour réaliser l'équivalent d'un enroulement alterné, ainsi que le montre le croquis ci-contre (fig. 162). Quoi qu'il en soit, chaque bobine passant, dans un tour, devant huit pôles le sens du courant induit est renversé *huit fois* dans chacune d'elles ; et comme ces actions sont en concordance parfaite et s'ajoutent, grâce au genre d'enroulement, la machine produira des courants alternatifs rythmés à *quatre périodes* par tour.

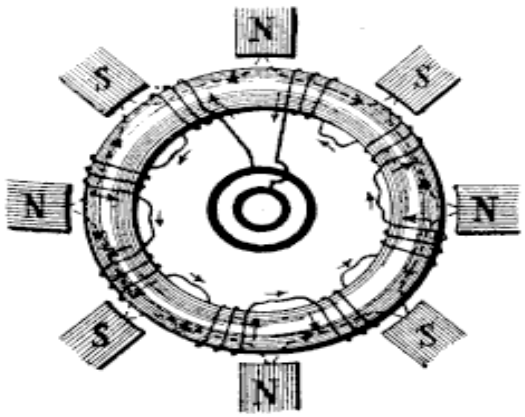


Fig. 161. — Alternateur multipolaire.


Fig. 162.

Alternateurs polyphases. — L'expérience a montré qu'il y a inconvénient à donner aux bobines de l'induit une trop grande largeur; en effet, si l'on considère le moment où une bobine donnée passe devant un pôle, on voit que la force électromotrice induite n'est pas la même pour toutes les spires qui la composent, celles qui se trouvent au milieu traversant un champ magnétique plus intense que celles des extrémités; en d'autres termes, les différentes spires ne passent que successivement par le maximum de phase, d'où une diminution de la valeur de la force électromotrice résultante. Il est donc avantageux de ménager un intervalle entre deux bobines consécutives. Mais l'espace ainsi laissé libre n'est pas forcément perdu :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on le récupère en y plaçant une nouvelle série de bobines, reliées entre elles de la même façon que la première et *agissant sur un circuit indépendant :* on met ainsi, en réalité, deux alternateurs sur le même induit, comme le montre la figure 163, dans laquelle, pour la clarté des connexions, nous supposons l'induit fixe et l'inducteur mobile (il existe d'ailleurs des machines de ce genre). Si l'on examine cette figure, on voit que chacune des séries, A et B, prise isolément, est constituée comme dans le multipolaire simple, décrit plus haut : le nombre des bobines y est égal à celui des pôles, et, de plus, l'enroulement étant supposé le même, les bobines paires de chaque série ont leurs connexions inversées par rapport aux impaires.



Fig. 163. — Alternateur diphase.

Les deux alternateurs produisent évidemment le même nombre de *périodes* par tour : ils donnent donc la même *fréquence ;* ils ne se différencient l'un de l'autre qu'au point de vue des phases, c'est-à-dire en ce qui concerne, à chaque instant envisagée, la valeur de la force électromotrice engendrée dans l'un et dans l'autre circuit. En effet, à l'instant où nous les présente la figure 163, les bobines de la série A sont chacune en face d'un pôle et, par suite, au maximum de force électromotrice ; celles de la série B, au contraire, se trouvant égale à distance d'un nord et d'un sud, sont à zéro ; la proportion sera renversée lorsque la machine aura tourné d'un angle égal à celui qui sépare A de B ; or, une période complète correspond à l'angle compris entre deux pôles de même nom, donc l'arc comprend, sur la figure 163, 4 bobines : le décalage des *phases* de nos deux alternateurs est donc

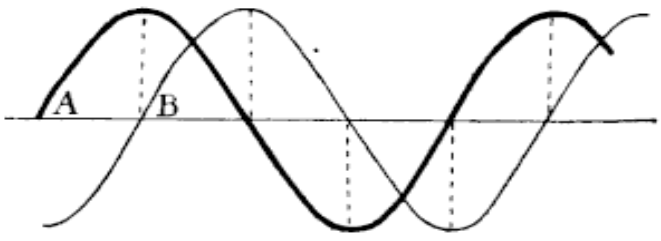


Fig. 164. — Courants diphasés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un quart de période, comme le montrent les courbes A et B de la figure 164, ci-contre. Ces courbes ont exactement la même allure et sont, par suite, superposables : elles sont seulement décalées l'une par rapport à l'autre ; enfin, bien que sur cette figure, elles semblent confondues, on n'oubliera pas, comme nous l'avons dit plus haut, que les courants qui leur correspondent circulent dans des circuits différents, comprenant, à l'occasion, un fil de retour commun.

L'alternateur, dont nous venons de donner les lignes générales, est appelé *biphase* ou *diphase*; si, au lieu de deux séries de bobines, nous en mettions trois (chaque groupe de trois bobines, A, C', B, occupant comme précédemment l'angle qui sépare les points centraux des deux pôles consécutifs), notre alternateur deviendrait *triphase*. Les trois forces électromotrices engendrées simultanément seraient décalées d'un sixième de période (fig. 165). On peut obtenir des courants triphasés décalés de 1/3 de période : pour cela, il suffit d'inverser l'enroulement de la série de bobines, C', qui devient *dextrorsum* si les autres sont *sinistrorsum*, et réciproquement; on inverse, du même coup, les phases positives et négatives de cette série, comme l'indique la courbe pointillée C sur la figure 165, et l'on obtient ainsi le décalage de la figure 166. Cette inversion n'offrirait aucun intérêt si les trois circuits restaient indépendants; elle est, au contraire, nécessaire lorsqu'il s'agit de les combiner sur des moteurs à champ tournant, dont nous parlerons plus loin. On pourrait, il est vrai, opérer l'inversion sur le moteur lui-même, comme nous le verrons le moment venu.

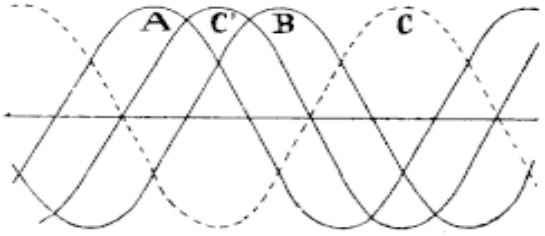


Fig. 165.— Courants triphasés à 1/6 de période.

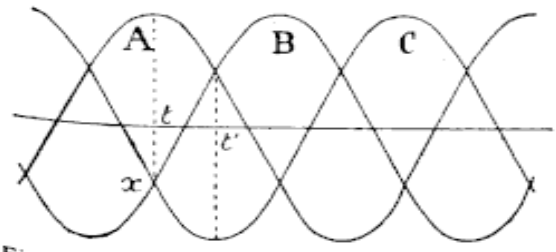


Fig. 166.— Courants triphasés à 1/3 de période.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DONNÉES THÉORIQUES SOMMAIRES SUR LES COURANTS ALTERNATIFS

Circuit sans self-induction ni capacité. — Les courbes données plus haut, représentent seulement les forces électromotrices développées dans les alternateurs; nous avons volontairement omis de parler de la valeur du courant qui leur correspond, car ce courant, comme nous allons le voir, n'est pas toujours, on pourrait presque dire n'est jamais, en *concordance de phases* avec lesdites forces électromotrices; cette concordance n'existe que lorsque le circuit ne présente ni self-induction ni capacité, ce qui, à la vérité, est rare dans la pratique, au moins pour la self, tout courant créant autour de lui un champ magnétique, qui réagit sur le circuit pour engendrer une self-induction : si l'on admet que, dans un circuit d'éclairage, par exemple, la self et la capacité sont, sinon nulles, tout au moins négligeables, le courant prend, à chaque instant, la valeur que lui assigne la loi d'Ohm (v. p. 38) les forces électromotrices et les courants sont représentés par une seule et même courbe.

Circuit avec self-induction. — La self-induction que nous avons définie page 52, constitue une force contre-électromotrice, qui s'oppose à l'action immédiate de la force électromotrice agissante, et concourt à déterminer « une période variable » avant l'établissement d'un courant continu en régime permanent (v. p. 60); à la fin de l'émission, elle tend, au contraire, à prolonger le courant. Nous l'avons comparée à l'*inertie* mécanique qui s'oppose d'abord à la mise en mouvement d'un corps, puis ensuite à son retour au repos. Cette même réaction se produit, évidemment, avec les courants alternatifs, mais comme ici il n'y a pas de régime permanent, elle a pour effet de déformer constamment la courbe que prendraient, sans elle, les courants : le résultat est donc une *discordance de phases*, caractérisée par un *décalage* en retard. Nous appelons l'attention sur ce phénomène, qui nous servira à expliquer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le fonctionnement et la dépense d'énergie des transformateurs et des alternomoteurs.

La figure 167, ci-après, va nous permettre de le décomposer; nous croyons bon de rappeler, au préalable, qu'avec les fréquences usuelles, les différentes phases partielles, dont nous allons faire l'analyse, sont de l'ordre du huit centième ou du millième de seconde. La courbe E, en trait plein, représente les forces électromotrices engendrées par l'alternateur; celle, I, en trait coupé, les intensités et enfin, la troisième, S, en pointillé, la force contre-électromotrice de self-induction, qui est constamment en opposition avec la première, E, et est décalée de 1/4 de période par rapport à la seconde, I. Lorsque la force électromotrice atteint son maximum, au temps *a*, l'intensité, par suite du retard dû à la self-induction, n'a pas encore la valeur qui lui correspondrait d'après la loi d'Ohm; au delà de *a*, la force électromotrice décroît, mais, comme elle est supérieure à celle qui produirait l'intensité *a a'*, celle-ci peut encore s'élever jusqu'au temps *b*, où l'équilibre s'établit, la self-induction qui a décru depuis I jusqu'ici, tombant à zéro; passé ce point, la force électromotrice continue à diminuer; le courant ne peut évidemment que faire de même; mais, par suite de cette décroissance, la self-induction se manifeste dans le sens opposé à la première, et, de négative qu'elle était, devient positive : elle tend alors à renforcer le courant qui décroît : l'intensité se maintient donc, à chaque instant, *au-dessus* de la valeur que lui donnerait la force électromotrice, si elle agissait seule, puisque cette dernière se trouve augmentée par la self-induction; et,

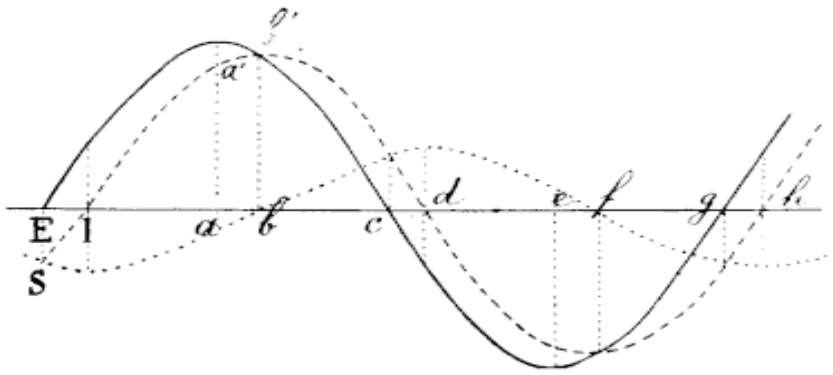


Fig. 167. — Décalage en retard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tandis que la force électromotrice positive a son zéro en *c*, le courant ne s'annulera qu'en *d*, alors qu'une force électromotrice négative est déjà en jeu depuis le temps *c d* ; en résumé, l'intensité, de I à *b*, est proportionnelle à la *différence* entre les deux forces électromotrices opposées, et de *b* à *c* à leur *somme* arithmétique,

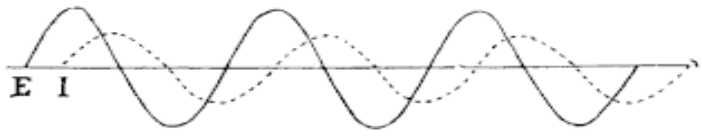


Fig. 168. — Courants décalés de 1/4 de période.

ce qui revient à dire que l'intensité est, à tout instant, proportionnelle à la somme algébrique des deux forces électromotrices.

Le même phénomène se produisant dans la seconde partie de la période, la phase négative présentera un décalage *e f*, et ainsi de suite. Ce décalage est proportionnel à la self-induction et à la fréquence, et inversement proportionnel à la résistance; il peut atteindre, au maximum, un quart de période, lorsque la résistance est nulle; dans ce dans ce dernier cas (fig. 168) le courant commence à s'établir en positif, par exemple au moment où la force électromotrice positive est à son maximum,et réciproquement. Cela indique que la force contre-électromotrice de self-induction a atteint elle-même, à ce moment, son maximum et commence à décroître. Il est évident que la self-induction étant, à proprement parler, la réaction de la force électromotrice directe, ne peut augmenter lorsque sa cause diminue. En un mot, nous voyons que l'action combinée de la fréquence et de la self-induction agit dans le circuit comme une résistance et que, lorsqu'elles sont suffisamment grandes par rapport au voltage de la source, elles s'opposent au passage du courant (nous verrons l'application de ce cas lorsque nous nous occuperons de « télégraphie et téléphonie simultanées ».)

D'après ce qui vient d'être dit, il est clair que la loi d'Ohm ne s'applique pas aux circuits qui, pourvus de self-induction, sont parcourus par des courants alternatifs : pour y faire pénétrer une intensité donnée, il faut majorer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la force électromotrice active d'une valeur égale à celle de la force contre-électromotrice de self-induction. Si nous appelons I cette intensité désirée, T, la durée d'une période (par exemple, 1/40 de seconde) et L le coefficient de self-induction du circuit, la réaction e' est mesurée par la formule :

$$e' = \frac{2\pi}{T} LI \qquad (1)$$

le produit représente le nombre de volts dont il faut augmenter la force électromotrice que nous indiquerait la loi d'Ohm pour un courant continu.

Inversement, si nous faisons agir une force électromotrice alternative E sur un circuit de résistance R, et si, pour simplifier, nous posons :

$$\frac{2\pi}{T} = \omega \qquad (2)$$

l'intensité obtenue sera :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \qquad (3)$$

La quantité ω L est désignée sous le nom d'*inductance ;* le dénominateur de la relation (3) s'appelle *résistance apparente* ou *impédance.*

Circuit avec capacité. — Nous prendrons, pour plus de facilité, un circuit dépourvu de self-induction et constitué uniquement par un condensateur. Le principe et les constantes de cet instrument sont donnés au chapitre : « Lignes Souterraines » (v. plus loin); nous le supposerons donc ici suffisamment connu; rappelons seulement cette particularité que, pendant toute la durée du courant de charge vers l'une des armatures, un second courant de même sens parcourt la partie du circuit reliée à l'autre armature; en d'autres termes, le condensateur n'intercepte le courant continu que lorsqu'il a atteint l'état stable, mais, pendant les périodes variables de commencement et de fin des émissions, l'action se manifeste dans les deux branches du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

circuit; or, les courants alternatifs n'étant autre chose qu'une suite de courants variables, on peut dire qu'ils *traversent* un condensateur comme si le circuit était ininterrompu, à cela près du décalage et de la diminution d'intensité dont nous allons parler.

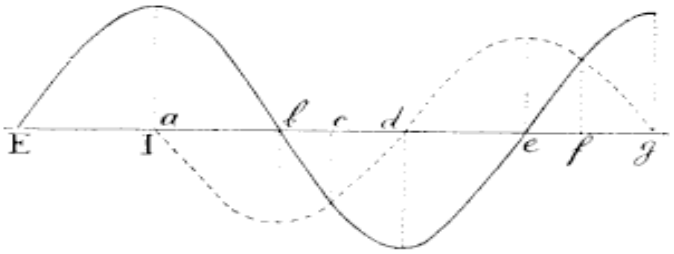


Fig. 169. — Décalage en avance.

La présence d'une capacité, dans un circuit soumis à l'influence de forces électromotrices alternatives, déterminera un *décalage en avance* des courants engendrés; autrement dit, l'établissement d'une intensité dans un certain sens *précédera* l'apparition de la force électromotrice de même sens. Cette proposition peut paraître paradoxale, *à priori*, nous espérons, cependant, que le raisonnement suivant lui ôtera cette apparence.

Supposons une force électromotrice alternative représentée par la courbe E, en trait plein (fig. 169). Si notre circuit est, comme nous l'avons dit plus haut, constitué par un condensateur, lorsque, au temps *a*, la force électromotrice positive est à son maximum, ledit condensateur est chargé au potentiel de la source; s'il s'agissait d'un courant continu atteignant l'état stable, les deux potentiels opposés devenant égaux, aucun courant ne parcourrait le circuit; mais ici, il en sera autrement : en effet, à partir de *a*, la force électromotrice active commence à décroître et, de ce fait, n'équilibre plus celle du condensateur; celui-ci va se décharger et un courant, *inverse de celui de charge*, va immédiatement prendre naissance en *a* et aura la direction *négative*, alors que la force électromotrice, bien que décroissante, est encore *positive*. Comme la décharge se fait au prorata de cette décroissance, le courant sera maximum au temps *b*, c'est-à-dire au moment où la force électromotrice positive s'annulera pour devenir négative : la nouvelle charge donnée au condensateur déterminera

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un courant négatif décroissant, jusqu'au temps *d ;* là se reproduira, mais en sens inverse, le phénomène observé en *a ;* une décharge positive aura lieu pendant la décroissance de la force électromotrice négative, et ainsi de suite.

Le décalage est donc bien, ici, une *avance ;* dans l'exemple ci-dessus, il atteint la valeur de un quart de période, ce qui constitue le maximum, comme pour celui de la self-induction ; s'il l'on en a bien saisi le mécanisme, on voit qu'il ne peut pas atteindre une valeur supérieure, puisque, dans le cas, que nous venons d'envisager la décharge commence au moment où la force électromotrice décroît : elle ne pourrait, évidemment, commencer avant ; nous avons choisi ce maximum comme exemple, parce qu'il est d'une démonstration plus facile, mais on conçoit que le décalage pourra atteindre des valeurs inférieures ; celles-ci seront inversement proportionnelles à la fréquence et à la capacité. Pour bien comprendre l'influence de ces deux facteurs, il suffit de se rappeler que la force électromotrice inverse, opposée par un condensateur, est proportionnelle à la charge qu'il prend, c'est-à-dire au degré de tension de son diélectrique, qui agit ici comme le ferait un ressort plus ou moins bandé ; il s'ensuit que, plus on augmentera la fréquence ou la capacité, moins le diélectrique sera tendu au moment où la force électromotrice directe atteindra son maximum : celle-ci sera donc susceptible de décroître d'une certaine quantité avant que la décharge puisse commencer : cette *augmentation* des facteurs dont il s'agit donnera une *diminution* du décalage.

L'intensité des courants qui parcourent le circuit a toujours une valeur inférieure à celle qui correspond, à chaque instant, à la force électromotrice mise en jeu (sur une résistance donnée) : en effet, nous avons vu que la décharge est graduée proportionnellement à la différence des deux forces électromotrices opposées, il en est de même de la charge ; si, donc, nous reprenons le raisonnement du paragraphe précédent, nous voyons que, toutes choses égales d'ailleurs, l'intensité augmente avec la fréquence

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la capacité; pour employer un langage familier, on peut dire que, si la capacité et la fréquence sont très grandes, le courant *n'a pas le temps* nécessaire pour charger le condensateur, dont le potentiel reste alors, à chaque instant, au-dessous de celui de la source : le résultat est donc une augmentation de l'intensité; si l'on préfère encore, le débit diminue quand le décalage augmente, et inversement : la loi d'Ohm est donc, là aussi, en défaut : si nous représentons les différents facteurs par les mêmes symboles que pour la self-induction (v. p. 219), l'intensité s'obtient par la formule :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}} \qquad (4)$$

dans laquelle la quantité $\frac{1}{\omega C}$ s'appelle la *capacitance* et le dénominateur, *impédance* ou *résistance apparente*, comme pour la self-induction.

Pour ramener l'intensité à la valeur I', que lui donnerait la loi d'Ohm, s'il n'y avait pas de capacitance, il faudrait majorer la force électromotrice de :

$$e' = \frac{I'}{\omega C} \qquad (5)$$

Self-induction et capacité en série. — Nous venons de voir que le décalage produit par la self-induction est un retard de l'intensité sur la force électromotrice, tandis que celui qui résulte d'une capacité se manifeste en avance : l'allure d'un courant dans un circuit comportant self et capacité en série, dépend donc de la valeur de chacun des facteurs inductance (ωL) et capacitance $\left(\frac{1}{\omega C}\right)$ dont la différence seule intervient. Cette différence, à laquelle on donne le nom de *réactance*, s'exprime :

$$Rce = \omega L - \frac{1}{\omega C} \qquad (6)$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour trouver l'intensité, il suffit de reprendre les formules (3) et (4); on a alors :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{c}\right)^2}} \qquad (7)$$

Si l'inductance et la capacitance sont égales, le décalage est nul, il y a concordance de phases entre la force électromotrice et le courant; enfin, l'impédance devenant égale à la résistance ohmique du circuit, l'intensité est mesurée par la loi générale :

$$I = \frac{E}{R} \qquad (8)$$

Le circuit est alors dit en *résonance*. L'étude de ce cas particulier, très intéressant, nous entraînerait malheureusement trop loin de notre sujet; notons seulement que, par suite de l'augmentation de l'intensité, les forces électromotrices de self ($_{\omega}LI$) et de capacité $\left(\frac{I}{\omega c}\right)$ augmentent proportionnellement et peuvent, dans certains cas, dépasser de beaucoup la force électromotrice active; les formules données ci-dessus permettent d'effectuer le calcul : cette *surtension* peut constituer un danger pour le diélectrique du condensateur, qui risque d'être foudroyé; aussi recommande-t-on, lorsqu'il s'agit de hauts voltages, l'emploi de plusieurs condensateurs groupés en série, au lieu d'un seul, comme l'indique le croquis ci-dessous (fig. 170) : la différence totale du potentiel AD se trouve ainsi, pour chacun d'eux, divisée par leur nombre, ce que l'on peut vérifier en appliquant à ce cas le raisonnement dont nous nous sommes servis pour les éléments de piles montés en tension (v. p. 33).

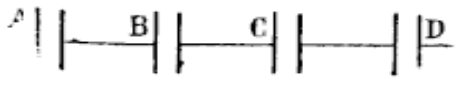


Fig. 170.

Self induction et capacité en dérivation. — Si une self-induction et une capacité sont mises en dérivations l'une par rapport à l'autre, comme l'indique la figure 171 (p. 224), chacune d'elles, prise

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

isolément, se comporte comme si elle était seule (décalage en retard dans la première, L, en avance dans la seconde, C); ce cas ne comporterait pas d'autre développement si la réunion des deux facteurs n'entraînait une conséquence très curieuse et de nature à dérouter, dans la pratique, quiconque ne serait pas prévenu : s'il s'agissait d'un circuit à courant continu, un ampèremètre, placé sur la branche principale, en A, par exemple, enregistrerait une intensité égale à la somme des chiffres marqués par deux autres, embrochés, l'un en B, sur la branche L, l'autre en D, sur la branche C (en supposant que cette dernière ne comporte pas de condensateur). Avec les courants alternatifs, le résultat est tout différent : en effet, supposons que les deux décalages soient, l'un en retard, l'autre en avance, d'environ un quart de période, par rapport à la force électromotrice de l'alternateur, *a*, l'écart entre eux sera à peu près d'une demi-période; par conséquent, lorsque la branche L sera à son maximum *positif*, la branche C atteindra son maximum *négatif* et inversement : les deux courants tendront donc à se neutraliser dans le circuit principal, et l'ampèremètre totalisateur A, n'enregistrera que leur *différence* d'intensité. Si l'on voulait pousser plus loin le paradoxe, il suffirait d'équilibrer les deux branches L et C, de manière que le décalage soit juste de 1/4 de période et le débit égal dans chacune d'elles : la concordance opposée étant parfaite, la neutralisation le serait également et l'ampèremètre A marquerait *zéro*, l'intensité fût-elle de 100 ampères dans chacune des branches L et C !

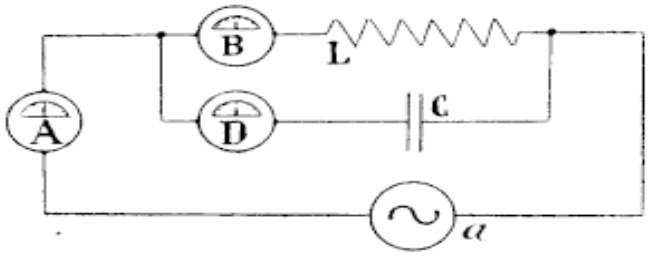


Fig. 171.

En résumé, lorsque la self et la capacité sont *en série*, leurs impédances ou résistances apparentes se retranchent et s'annulent, même si elles sont égales : il y a alors

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résonance et le courant est maximum; lorsqu'elles sont *en dérivation*, elles s'ajoutent et le courant fourni par l'alternateur décroît au fur et à mesure qu'elles augmentent.

MESURE DES COURANTS ALTERNATIFS

Puissance électrique. — De même qu'on mesure la puissance d'une chute d'eau par le produit de sa hauteur et de son débit, de même on mesure celle d'un courant électrique *continu*, par le produit de la force électromotrice et de l'intensité; ce dernier facteur ne saurait, à lui seul, définir la puissance : en effet, un débit de 1 ampère, par exemple (v. p. 41) peut être produit d'une foule de façons :

$$\frac{1^{v}}{1^{w}} = \frac{10^{v}}{10^{w}} = \frac{100^{v}}{100^{w}} = \ldots\ldots = 1 \text{ ampère},$$

mais on voit que, s'il est produit par 10 ou 100 volts, il circule dans un circuit de 10 ou 100 fois plus résistant que s'il n'était engendré que par 1 volt : il y développera donc une quantité de chaleur proportionnellement plus grande; or, qui dit *chaleur* dit *énergie*. Nous pourrions conclure également que, si le circuit est 10 ou 100 fois plus résistant, il comporte 10 ou 100 fois plus de spires *d'un même fil* autour du noyau et produit, avec le même ampère, une action magnétique 10 ou 100 fois plus énergique : on voit donc que la *puissance* est nécessairement fonction de la force électromotrice comme de l'intensité, ce qu'on exprime :

$$P = EI.$$

Nous verrons plus loin les restrictions qu'il y a lieu d'apporter à cette loi en ce qui concerne les courants alternatifs.

L'unité de puissance est le *watt* (du nom du célèbre mécanicien anglais) : c'est la puissance fournie par un courant de 1 ampère, sous une force électromotrice de 1 volt; de même que le débit, il peut être formé de facteurs très différents :

$$10^{v} \times 0{,}1^{a} = 1^{v} \times 1^{a} = 0{,}1^{v} \times 10^{a} = \ldots\ldots = 1 \text{ watt}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On emploie couramment, en électricité industrielle, deux multiples du watt : l'*hectowatt* et le *kilowatt*, qui valent respectivement 100 et 1.000 watts.

Nous savons déjà que l'énergie mécanique dépensée pour faire tourner une dynamo se transforme en énergie électrique, et que celle-ci, absorbée à son tour par un moteur, nous restitue une énergie mécanique; entre cette dernière et la première, il y a, il est vrai, un *coefficient de perte*, résultant des frottements des machines elles-mêmes, de l'échauffement inutile des conducteurs, des fuites magnétiques, etc.; mais il n'en apparaît pas moins qu'une quantité déterminée d'énergie électrique correspond à un effort mécanique également déterminé; cette relation est la suivante :

9w81 équivalent à 1 kilogrammètre (v. p. 12)
736w — à 1 cheval-vapeur.

Dans les calculs rapides et approximatifs, on peut considérer que 1 watt correspond sensiblement à 1/10 de kilogrammètre et 1 kilowatt à 1 cheval- 1/3.

L'énergie fournie ou consommée dans un temps donné s'exprime en *watts-heures* ou en multiples (hectowatts-heures, etc.).

Force électromotrice et intensité efficaces. — Lorsqu'on veut évaluer les constantes de courants alternatifs, on ne doit pas perdre de vue que les forces électro-motrices changent non seulement de signe, périodiquement, mais encore, à chaque instant, de valeur dans un même signe; il en est de même pour l'intensité; les voltmètres et les ampèremètres pour courants alternatifs sont donc étalonnés de manière à indiquer une valeur moyenne, celle qui correspond précisément à la valeur d'un courant continu susceptible de produire les mêmes effets sur un circuit non inductif, lampes à incandescence, par exemple. Les chiffres indiqués s'appellent force électromotrice ou intensité *efficaces* et sont avec les *maxima* dans le rapport suivant:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$$E = E_{eff}\sqrt{2}$$

ou

$$E_{eff} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

Ainsi, lorsque le voltmètre accuse 100 volts efficaces, cela indique que les forces électromotrices instantanées passent de + 141 à — 141 (100 × 1,4142 = 141,42); inversement, si un alternateur engendre des voltages variant de + 100 à — 100, sa force électromotrice efficace est de 70v,7 : $\left(\frac{100}{1,4142} = 70,7\right)$.

On trouverait, de même, l'intensité variable, connaissant l'intensité efficace, et réciproquement; et comme il s'agit ici d'un rapport constant, il va sans dire que les formules données aux paragraphes précédents, p. 219 et suivantes, s'appliquent tout aussi bien aux valeurs efficaces qu'aux valeurs variables.

Puissance apparente. — Puissance réelle. — Nous abordons ici une des particularités les plus curieuses des courants alternatifs : la puissance réelle, fournie par un alternateur n'est égale au produit de la force électromotrice par l'intensité (valeurs efficaces) que lorsque le courant est en concordance de phases avec les forces électromotrices, c'est-à-dire lorsque, par suite de l'absence de self-induction ou de capacité, il n'existe aucun décalage; s'il y a discordance, le produit qui nous occupe n'est qu'une *puissance apparente*, dépassant d'autant plus la *puissance réelle* que le décalage est plus grand. C'est ce qu'il s'agit de démontrer.

Nous avons vu (p. 211) que les forces électromotrices s'inversent au moment où les spires passent d'un champ magnétique dans un autre; si l'inversion du sens du courant s'effectue en même temps, les choses se passent comme dans une dynamo à courant continu : les polarités engendrées dans l'induit tendent à s'opposer au mouvement et le générateur développe le maximum de puissance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En effet, considérons une spire s, de l'induit ci-contre (fig. 172) : elle est parcourue par un courant qui tend à développer un pôle sud vers l'arrière et un nord à l'avant; vu sa proximité plus grande de l'épanouissement N, l'action est prépondérante de ce côté et l'attraction réciproque des pôles de noms contraires s'oppose au mouvement, qui est supposé celui des aiguilles d'une montre. Si, au point c, le sens du courant s'inverse en même temps que la force électromotrice, les polarités de la spire s'inversent également : le pôle sud, qui se trouve alors à l'avant, repousse le pôle S et l'opposition au mouvement se continue (il est à remarquer que, dès que le point S sera franchi, c'est le pôle nord de la spire qui, placé à l'arrière, continuera l'opposition jusqu'en g, par l'attraction qu'il exercera sur S).

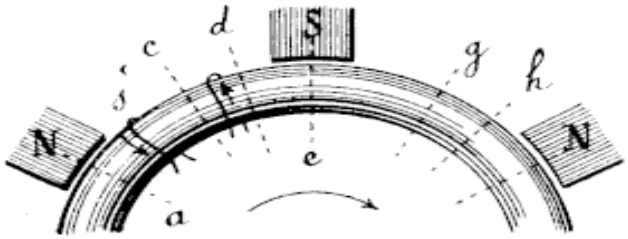


Fig. 172.

Mais considérons maintenant le cas d'un décalage, en retard, par exemple, et reportons-nous à la figure 167 (v. p. 217) nous y voyons qu'au point c, la force électromotrice s'annule pour devenir *négative*, tandis que l'intensité est encore *positive* et reste telle jusqu'en d : ce cas se produisant sur notre spire de la figure 172, le pôle nord qu'elle développe à l'avant, au lieu de disparaître en c, subsiste jusqu'en d, exerçant une attraction sur S; cette action, au lieu de s'opposer au mouvement, *tend donc à l'entretenir*; en d'autres termes, l'*alternateur fonctionne comme un moteur, pendant tout le parcours d'un angle égal à celui dont le courant est décalé : il absorbe de la puissance électrique au lieu d'en fournir.* Nous voyons ainsi que la self-induction, qui emmagasine de la puissance lorsque l'intensité est de même sens que la force électromotrice, la restitue dans les fractions de phases opposées. Si le décalage est maximum, (v. fig. 168, p. 218) la force électro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

motrice et le courant sont de même sens pendant 1/4 de période, de sens contraire pendant le quart suivant, et ainsi de suite : la puissance absorbée dans le premier quart est donc intégralement restituée dans le second.

Conclusion : lorsque le courant est en concordance de phases avec la force électromotrice, la puissance est maxima et se dépense entièrement dans le circuit extérieur ; dès que se produit un décalage, la puissance réelle n'est plus le produit EI, elle se trouve diminuée de la quantité restituée au générateur par le circuit, chaque fois que la force électromotrice et le courant sont opposés : la différence seule se transforme en chaleur dans le circuit ; enfin, si le décalage est maximum, la restitution étant égale à l'absorption, *la puissance réelle est nulle*, si énormes que puissent être les forces électromotrices et les intensités mises en jeu ; ceci, bien qu'extraordinaire à première vue, est d'une logique rigoureuse : si la résistance extérieure est nulle, la self-induction absorbe *toute* la puissance sous forme de champ magnétique et la restitue *intégralement* ensuite au générateur, et *rien* n'est transformé en chaleur. Il va sans dire que, dans la pratique, ce dernier cas ne se produit pas, la résistance extérieure n'étant jamais nulle.

Ces considérations s'appliquent également au décalage, en avance, produit par une capacité (v. fig. 169, p. 220).

On remarquera, d'autre part, que le nom de *résistance apparente*, que nous avons donnée à l'impédance est bien celui qui convient, car si une bobine de self-induction, par exemple, limite l'intensité, comme le ferait une résistance vraie, sa seule résistance *ohmique* donne lieu à une dépense d'énergie.

Quoi qu'il en soit, nous voyons qu'il est nécessaire d'établir une distinction entre la *puissance apparente* et la *puissance réelle*, qui s'expriment respectivement :

$$Pa = E_{eff} \times I_{eff}.$$

$$Pr = E_{eff} \times I_{eff} \times K$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cette dernière formule, K, qu'on appelle *facteur de puissance*, est un coefficient compris entre 0 et 1, et égal au cosinus de l'angle de décalage (une période correspond ici à un cercle complet). On y trouve la confirmation mathématique des données ci-dessus : lorsque le décalage est nul, K = 1 et P*r* = P*a*; lorsque le décalage est de 1/4, K = 0 et par suite P*r* = 0.

Courants dewattés. — Wattmètre. — De tout ce qui précède, il résulte que l'intensité alternative qui parcourt un circuit peut se décomposer en deux parties bien distinctes :

1° Les courants *wattés*, qui correspondent aux fractions de phases pendant lesquelles la force électromotrice et le courant sont de même sens, et sont seuls capables de développer dans le circuit de la chaleur, c'est-à-dire du travail;

2° Les courants *dewattés*, qui circulent pendant l'opposition due au décalage et qui, absorbés par l'alternateur, donnent lieu à un travail nul dans le circuit extérieur.

Si l'on préfère, les courants wattés représentent l'énergie fournie par le générateur au circuit, et les courants dewattés, l'énergie restituée au générateur par le circuit; et comme, d'une part, l'ampèremètre enregistre indistinctement les uns et les autres; comme, d'autre part, il n'est pas toujours facile de connaître le *facteur de puissance*, K, dont nous parlons plus haut, on fait généralement usage, pour mesurer la puissance absorbée par un circuit, d'instruments spéciaux appelés *wattmètres;* ceux-ci fonctionnent exclusivement sous l'action de la puissance réelle, l'enregistrent fidèlement en éliminant la partie dewattée des courants. Nous exposerons, à titre d'indication, le principe de l'un de ces appareils, lorsque nous aurons étudié les champs tournants (v. 248).

Transformateurs. — Lorsque nous avons défini la puissance électrique (v. p. 225), nous avons dit qu'elle est égale au produit de la force électromotrice par l'intensité; et que ce produit peut être obtenu à l'aide de facteurs différents sans que la valeur de la puissance soit changée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *transformateurs* sont, comme leur nom l'indique, des instruments destinés à « transformer » une puissance de force électro-motrice élevée et de débit faible, par exemple, en une autre, égale, de force électro-motrice réduite et d'intensité augmentée, ou inversement :

$$1000^a \times 10^v = 100^a \times 100^v = 10^a \times 1000^v$$

Le transformateur élémentaire peut s'imaginer ainsi : soient deux noyaux de fer feuilleté p et s (fig. 173) réunis par deux culasses, de manière à former un circuit magnétique complet; l'enroulement du noyau p, que nous appellerons *primaire*, est relié à un alternateur A, celui de s, qui constitue le *secondaire*, fait partie du circuit d'utilisation. Les courants alternatifs envoyés dans le circuit primaire donnent lieu à un champ magnétique également alternatif; celui-ci, réagissant par induction sur le circuit secondaire, y engendre, à son tour, une nouvelle force électromotrice alternative. On peut trouver une analogie entre le fonctionnement d'un transformateur et celui d'un alternateur : dans ce dernier, un champ fixe est traversé par un circuit mobile; les courants induits résultent de l'intensité plus ou moins grande de la partie de champ traversée successivement à chaque instant (v. fig. 143, p. 199); dans le transformateur, le circuit induit est fixe, mais le champ varie constamment : le résultat doit donc nécessairement être le même, le primaire du transformateur correspond à l'inducteur de la machine et le secondaire à l'induit.

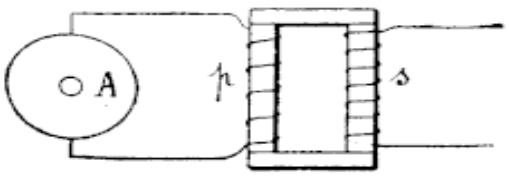


Fig. 173. — Transformateur.

La bobine de Ruhmkorff, trop connue pour être décrite ici, est un transformateur : si l'on fait passer des courants *continus* dans le primaire, on produit les variations du champ à l'aide d'un trembleur-interrupteur; dans le cas de courants alternatifs, ce dernier organe est supprimé et l'appareil se réduit à un noyau sur lequel sont enroulés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux circuits, un primaire et un secondaire. Il existe une foule d'autres modèles de transformateurs, dans le détail desquels il serait trop long et sans intérêt d'entrer.

Transformation de l'énergie. — Voyons maintenant dans quelles conditions la puissance fournie au primaire est transformée dans le secondaire. Il est bien évident que si les deux circuits de la bobine étaient identiques, la puissance récupérée dans le secondaire serait égale, en volts et en ampères efficaces, à celle dépensée dans le primaire, si l'on considère comme négligeable la perte qui résulte inévitablement de toute transformation; mais supposons que (c'est le cas dans la bobine de Ruhmkorff, d'usage courant), le primaire soit constitué par un fil gros et court, et le secondaire par un fil fin et d'un nombre considérable de spires : la force électromotrice d'induction, développée dans chacune de celles-ci, est *multipliée par leur nombre* et pourra atteindre, par exemple, 100 volts, alors que celle qui agit sur le primaire sera seulement de 5 volts (chiffre également arbitraire); mais, d'autre part, si l'intensité, dans ce dernier circuit, est de 20 ampères, elle sera, dans le secondaire, réduite à 1 ampère, toujours en admettant la perte nulle; car, n'oublions pas que $P = EI$ (v. p. 225), et que, par conséquent, si, à puissance égale, nous augmentons E, nous diminuons forcément I dans la même proportion ($5 \times 20 = 100 \times 1$). Notre transformateur, dans ce cas, est dit *élévateur*, cette expression s'appliquant à la force électromotrice. Si, au contraire, nous prenons pour primaire le circuit fin et pour secondaire le gros fil, nous aurons baisse de force électromotrice et augmentation d'intensité : la puissance récoltée sera encore égale à celle dépensée, et nous disposerons d'un transformateur *réducteur* (de tension).

Pour énoncer ce qui précède sous une forme plus mathématique, nous dirons que les forces électromotrices du primaire et du secondaire sont *dans le même rapport que le nombre des spires de chaque circuit*, ou, en désignant respectivement par e et e' les forces électromotrices du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

primaire et du secondaire et, dans le même ordre, par n et n' le nombre de spires de l'un et de l'autre, on a :

$$\frac{e}{e'} = \frac{n}{n'}$$

En appliquant cette équation à la construction d'un transformateur, on sera en situation de modifier, dans la proportion qu'on voudra, les facteurs E et I d'une puissance donnée, tout en conservant la *même fréquence*.

Effets des variations dans le débit du secondaire. — Il est intéressant de démontrer que la dépense dans le primaire est toujours proportionnelle au débit utilisé dans le secondaire. Prenons, pour plus de simplicité, le cas d'un débit nul, c'est-à-dire celui où le secondaire est à circuit ouvert : les choses se passent comme si ce dernier circuit n'existait pas : notre transformateur se réduit à une bobine douée d'une grande self-induction ; nous savons (v. p. 219) que la résistance apparente (ou impédance), qui en résulte, est capable de diminuer considérablement l'intensité et, en outre, de décaler les courants par rapport aux forces électromotrices ; or, nous avons vu (p. 227) que, par suite de ce décalage, la bobine restitue au générateur l'énergie emmagasinée par la self-induction ; en d'autres termes, si le décalage est de 1/4 de période, la puissance absorbée pendant la phase d'accroissement de la force électromotrice ne peut se dépenser dans le secondaire, dont le circuit est ouvert : elle reste alors disponible, sous forme de champ magnétique et est rendue à l'alternateur pendant la phase de décroissance. Les courants reçus dans le primaire sont donc *déwattés* et le seraient intégralement si le transformateur ne comportait aucune fuite magnétique, ce qui n'est jamais le cas. L'énergie ainsi dépensée, si le circuit était sans résistance et si elle n'est pas absolument nulle, ne dépasse pas, avec un transformateur bien construit, une valeur négligeable.

Fermons maintenant le secondaire sur une grande résistance, susceptible de ne permettre qu'un faible débit ; une partie seulement du champ engendré par le pri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

maire est utilisée, mais, néanmoins, le décalage y devient moindre, l'intensité plus grande; l'excédent restitué au générateur se trouve, par suite, diminué, c'est-à-dire que les courants sont moins dévattés.

Au fur et à mesure que nous augmenterons l'intensité dans le secondaire, le décalage dans le primaire ira en diminuant, et la dépense en courants wattés augmentera : l'énergie fournie dans l'un des circuits se proportionne donc automatiquement à celle qu'on veut récolter dans le secondaire; c'est là une propriété très curieuse des transformateurs de courants alternatifs; nous la retrouverons quand nous nous occuperons des alterno-moteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XV

ALTERNOMOTEURS.
MOTEURS SYNCHRONES

Réversibilité des alternateurs. — Tout comme les dynamos à courant continu, les alternateurs sont réversibles, c'est-à-dire se transforment en moteurs si on les alimente à l'aide de courants alternatifs. On les excite, soit par un courant continu indépendant, soit en redressant, à l'aide d'un collecteur spécial, les courants empruntés à la canalisation : ils ont donc un champ constant et l'induit seul est parcouru par des courants alternatifs. Lorsqu'il a été amené à la vitesse de l'alternateur qui l'alimente, il continue à tourner *synchroniquement* avec celui-ci, d'où le nom *synchrone*; toutefois, cette appellation doit s'entendre au point de vue des périodes, et non à celui de la vitesse angulaire, car, en augmentant le nombre des pôles inducteurs, on réduit la vitesse de rotation du moteur.

Nous ne nous arrêterons pas sur cette catégorie, qui ne convient pas au remontage des poids de nos appareils; en effet, entre autres défauts ils en ont un, capital à ce point de vue spécial : ils ne démarrent pas seuls, même à vide, et doivent être amenés mécaniquement à la vitesse qui convient, avant de pouvoir travailler.

MOTEURS ASYNCHRONES

Les moteurs *asynchrones*, comme leur nom l'indique, sont susceptibles de tourner à des vitesses différentes de celle de l'alternateur qui les actionne.

Moteurs à collecteur. — Mentionnons pour mémoire que les moteurs à courant continu, tels que nous les avons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

décrits, peuvent être alimentés par des courants alternatifs, à la condition qu'ils soient excités en série; en effet, si nous nous reportons au chapitre précédent, nous voyons qu'on peut inverser le sens du courant sans changer la direction des attractions et des répulsions, les pôles se trouvant inversés à la fois dans l'inducteur et dans l'induit. L'excitation en dérivation ne donne pas d'aussi bons résultats, la self-induction de l'inducteur décalant le courant d'excitation (v. p. 216) et s'opposant, par suite, à la simultanéité de l'inversion des pôles dans les deux circuits.

Toutefois, ce genre de moteur n'est pas avantageux à divers points de vue : la self-induction affaiblit l'intensité du courant (v. p. 219) et il résulte une puissance moindre qui avec le courant continu, sur lequel ce facteur est sans effet; les variations continuelles du flux inducteur provoquent, dans les spires mises en court circuit par les balais, des courants très intenses qui déterminent des étincelles extrêmement difficiles à éviter.

Pour toutes ces raisons, on leur préfère des moteurs d'un genre spécial, sans collecteur ni balais, dont nous allons examiner le principe.

Champs magnétiques tournants. — Rappelons l'expérience classique d'Arago: si l'on fait tourner un disque de cuivre parallèlement au plan d'une aiguille aimantée montée sur un pivot, l'aiguille est entraînée dans le mouvement de rotation; inversement, si l'on fait tourner un aimant au-dessus d'un disque de cuivre susceptible de pivoter, le disque se met également à tourner; toutefois, Herschell, renouvelant l'expérience, constata que l'entraînement n'a plus lieu si le disque est fendu suivant des rayons. Faraday, un peu plus tard, découvrit les courants d'induction, et l'on eut bientôt l'explication de ce curieux phénomène, lorsque Foucault eut démontré que tout corps qui se meut dans un champ magnétique devient le siège de courants d'induction. Or, nous savons que ceux-ci, par le champ magnétique qu'ils engendrent à leur tour, réagissent sur les pôles qui leur ont donné naissance et tendent à s'oppo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ser au mouvement; dans le cas qui nous occupe, l'attraction exercée par les courants de Foucault sur l'aimant, ne pouvant arrêter celui-ci, a pour résultat l'entraînement du disque à la suite de l'aimant. Dans l'expérience d'Herschell, le disque étant fendu, les courants d'induction ne pouvaient se développer que dans un secteur compris entre deux fentes, ce qui explique l'insuccès, si celles-ci étaient suffisamment rapprochées.

Nous voyons donc qu'un champ magnétique tournant est susceptible d'entraîner dans son mouvement un corps mobile, grâce à l'action inductive qu'il exerce sur lui. Nous n'aurions pas là, à proprement parler, un *moteur*, puisqu'il nous faudrait faire tourner l'aimant; mais nous allons voir comment, à l'aide de courants alternatifs polyphasés, nous pourrons produire artificiellement le *champ magnétique tournant*.

Production d'un champ tournant. — Dans un moteur à courant continu, on crée des *pôles fixes* dans un *anneau mobile* (v. p. 194) : nous allons chercher maintenant à créer des *pôles mobiles* dans un *anneau fixe*.

Considérons un alternateur diphase, constitué comme celui de la figure 174; un aimant permanent, N S, tourne à l'intérieur d'un anneau fixe comportant 4 bobines; celles diamètralement opposées a et, a', b et b' sont à enroulement inverse et réunies entre elles; deux circuits AA' et BB' portent chacun au moteur M une série de courants, décalées de 1 /4 de période l'une par rapport à l'autre.

Le moteur M comprend un anneau inducteur, fixe, en tout semblable à l'anneau induit de l'alternateur; à l'intérieur de cet anneau peut tourner un tambour T, *sans collecteur ni balais* que, jusqu'à description plus complète, nous supposerons constitué par un simple cylindre monté sur un axe et portant des bobines fermées sur elles-mêmes. A l'instant où l'aimant occupe la position de la figure 174, les forces électromotrices développées dans les bobines aa', de l'alternateur sont maxima et s'ajoutent, grâce à l'enroulement inverse de l'une, en face du pôle nord et de l'autre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous l'action du pôle sud ; au même moment, les bobines *b* et *b'* sont à zéro (v. aussi courbe fig.164.p.214) : un courant, suivant la direction des flèches, parcourt les bobines *a* et *a'*

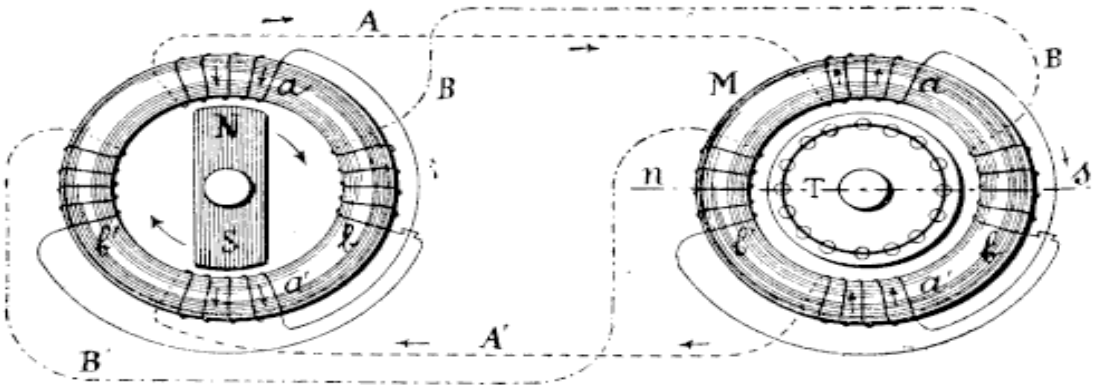


Fig. 174. — Champ tournant. Point de départ.

du moteur et engendre diagonalement un champ magnétique dans la direction *ns*. Nous analyserons plus loin l'effet produit sur le tambour T.

Dès que l'aimant de l'alternateur a dépassé le point où il se trouve sur la figure 174, la force électromotrice décroît dans le circuit A ; elle commence, au contraire, à s'accroî-

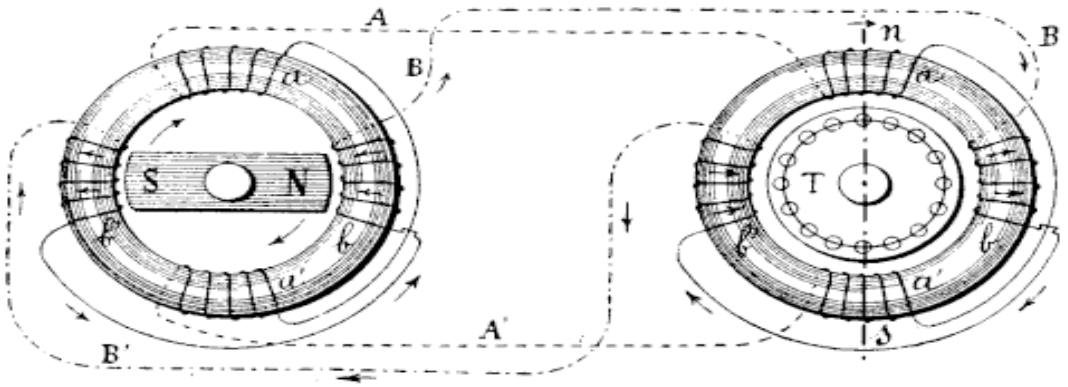


Fig. 175. — Champ tournant. Premier quart de tour.

tre dans le circuit B, les deux actions étant de même sens, s'ajoutent ou, pour mieux dire, se compensent, au point de vue de l'intensité magnétique, dans le moteur, puisque le courant de B augmente au fur et à mesure que celui de A diminue ; les pôles engendrés sont donc progressivement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rejetés dans le sens des aiguilles d'une montre et, après un huitième de tour de l'aimant, ils se trouvent à 45° entre les

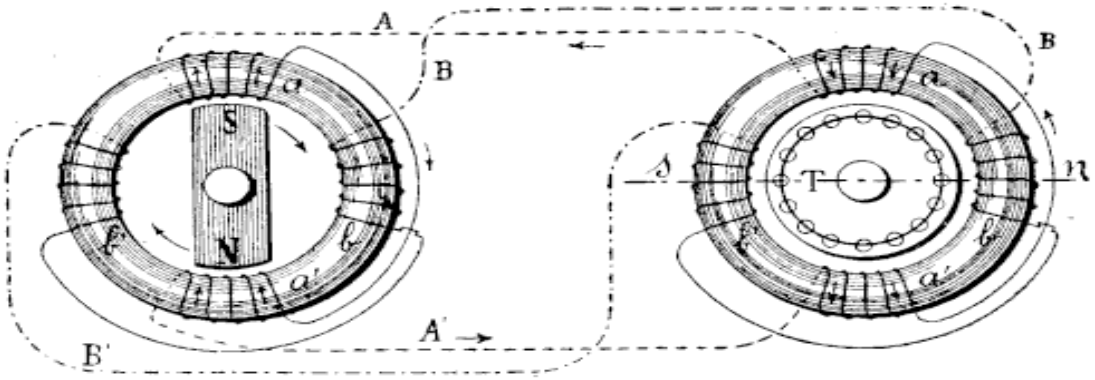


Fig. 176. — Champ tournant. Deuxième quart de tour.

bobines *b'* et *a* du moteur; enfin, après un quart de tour, l'intensité étant nulle en A et maxima en B, les pôles sont sur le diamètre vertical du moteur (fig. 175).

L'aimant continuant à se déplacer, la force électromotrice décroît dans le circuit B; au contraire, dans le circuit A elle recommence à s'accroître, mais en *sens inverse*, puisque la bobine *a*, qui se trouvait précédemment devant le pôle nord, est maintenant en face du pôle sud, et réciproquement (comparer les fig. 174 et 176). A mesure que l'intensité diminue en B et augmente en A, les pôles, rejetés de plus en plus dans le sens des aiguilles d'une montre, viennent se placer sur le diamètre horizontal, comme dans la figure 174, mais sont orientés à l'inverse, c'est-à-dire le

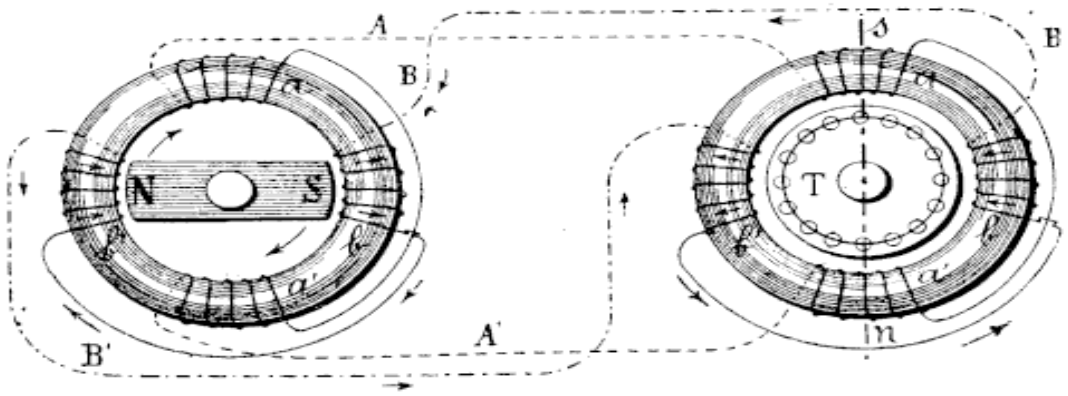


Fig. 177. — Champ tournant. Troisième quart de tour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nord à droite et le sud à gauche : cette position correspond au maximum en A et à zéro en B.

Pendant le troisième quart de tour, le courant, dans le circuit B s'inverse à son tour; il devient de même sens que celui qui diminue en A : les actions s'ajoutent pour repousser les pôles, toujours dans la même direction, jusque sur le diamètre vertical du moteur (fig. 177).

Enfin, pendant le 4me quart de tour, le courant en A s'inverse, et lorsque la révolution complète est terminée, les pôles engendrés dans le moteur sont revenus sur le diamètre horizontal, comme dans la figure 174. Nos pôles ont donc, eux aussi, *accompli une révolution entière* dans l'anneau inducteur du moteur, tout comme si nous y avions fait tourner mécaniquement les deux pôles d'un aimant, c'est-à-dire sans sauts d'un point à un autre et d'un mouvement absolument continu.

Réaction sur l'induit. — Certains auteurs désignent la partie mobile d'un moteur à courants alternatifs sous le nom quelque peu rébarbatif de *rotor*, attribuant celui, également disgracieux, de *stator* à la partie fixe : nous n'indiquons que pour mémoire ces vocables importés d'outre-Manche; les mots « induit » et « inducteur » peuvent être employés sans hérésie dans ce cas comme dans celui des moteurs à courant continu, ce qui présente tout au moins l'avantage de l'uniformité.

Cette parenthèse étant fermée, examinons ce qui se produit dans la partie mobile de notre moteur : les choses se passent comme si, dans un champ fixe, on faisait tourner un induit avec une vitesse égale à celle de la rotation du champ : nous savons que, dans ce cas, les spires sont le siège de forces électro-motrices alternatives; cette partie mobile se comporte comme le disque de l'expérience d'Arago; les courants induits qui *l'immobiliseraient si les pôles de l'anneau étaient fixes*, l'entraînent au contraire à la poursuite des pôles ambulants qui parcourent continuellement notre anneau; le moteur démarre donc seul, non seulement à vide, mais même sous charge, car il est alors le siège de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courants induits très intenses; ceux-ci diminuent au fur et à mesure que la vitesse angulaire augmente et se rapproche de celle du champ; le moteur n'est pas *synchrone*, bien qu'il tende vers le synchronisme : il est évident que, si l'identité de vitesse pouvait être atteinte, aucun courant d'induction ne serait engendré puisqu'aucune ligne de force ne serait coupée et le couple moteur deviendrait nul; or, si bien construit qu'il soit, notre appareil, même à vide, présente toujours des frottements qui absorbent de la force et, par cela même, s'opposent à l'établissement du synchronisme.

Glissement. — On appelle *glissement* la différence de vitesse angulaire entre le champ et la partie mobile; cette différence, très faible lorsque le moteur tourne à vide, augmente lorsqu'on le charge et atteint le maximum au démarrage ou lorsque le moteur est calé.

La puissance d'un moteur dépend de la valeur du glissement; elle est généralement maxima lorsque le glissement se tient entre 4 et 8 0/0, suivant les dimensions des machines, le second chiffre s'appliquant plus spécialement aux petits moteurs; au delà de ce maximum, le moteur est « surchargé » et travaille dans des conditions défavorables au point de vue du rendement.

Puissance absorbée. — Dans les moteurs à courant continu, le débit se proportionne de lui-même au travail, par suite des variations de la force contre électro-motrice, correspondant aux variations de la vitesse, c'est-à-dire au degré plus ou moins grand de la charge du moteur (v. p. 202). Avec les courants alternatifs, la puissance absorbée varie également comme le travail produit, car le moteur se comporte ici, à ce point de vue, comme un simple transformateur, dont le primaire est l'anneau inducteur et le secondaire le cylindre induit; en effet, nous avons dit plus haut que les courants d'induction, engendrés dans la partie mobile, sont maxima au démarrage et deviendraient nuls si le cylindre pouvait tourner à la même vitesse que le champ; cela revient à dire que l'intensité des courants induits dépend de la valeur du glissement qui, lui-même, augmente avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la charge imposée au moteur. Or, nous savons, d'autre part(v. p. 233) que le primaire d'un transformateur absorbe d'autant plus d'énergie que les courants récoltés dans le secondaire sont plus intenses; il en résulte qu'au démarrage notre moteur consomme le maximum de puis ance, comme un transformateur dont le secondaire est fermé sur une résistance faible; l'augmentation de la vitesse de l'induit produit le même effet qu'une augmentation de la résistance d'un secondaire, puisque la diminution du glissement entraîne la diminution de l'intensité dans l'induit; enfin si le glissement pouvait devenir nul, nous nous trouverions dans la situation d'un secondaire à circuit ouvert : la totalité des courants fournis à l'anneau primaire serait *déwattée* et la dépense théoriquement nulle.

Champs tournants multipolaires. — Le champ tournant qui nous a servi à la démonstration est produit par des courants diphasés; on construit également des moteurs pour courants triphasés; enfin, on peut disposer l'enroulement de manière à développer, au lieu d'une seule paire de pôles, deux, trois, quatre paires et plus. La figure 178, ci-contre, montre un inducteur pour courants triphasés décalés de 1/3 de période : trois fils de ligne, A, B, C, aboutissent à un nombre égal de séries de 4 bobines; dans chaque série, l'enroulement est alternativement *dextrorsum* et *sinistrorsum*; un fil de retour commun, R, est rattaché à la sortie de chacun des trois circuits. Si l'on envisage l'instant où A est à son maximum positif (v. fig. 166, p. 215) B et C sont négatifs : les flèches indiquent le sens du courant dans

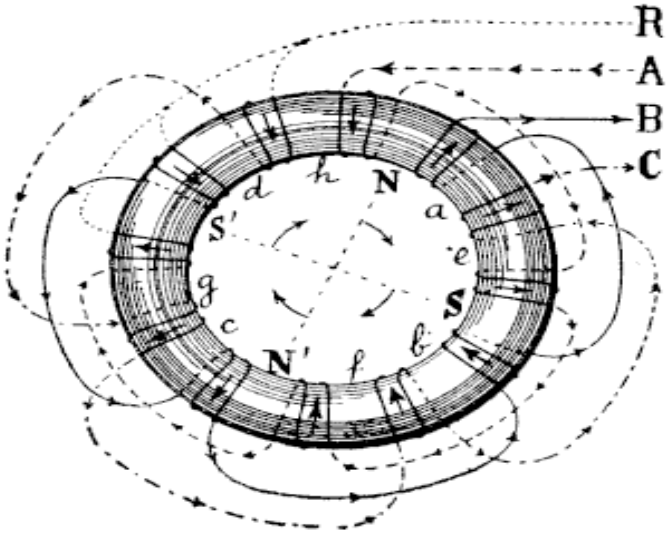


Fig. 178. — Champ tournant tetrapolaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque circuit, et l'on voit qu'il donne lieu à la création de quatre pôles NSN'S', situés aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires; 1/6 de période plus tard, A reste positif, C négatif, mais B est devenu positif : l'inversion du courant dans la série B a pour effet de rejeter les pôles en *a b c d*; 1/6 plus tard encore, nous aurons A négatif, B positif, C négatif : si l'on inverse sur la figure 178 les flèches des deux premiers, on voit que les pôles se trouveront alors en *e f g h*; et ainsi de suite : après une période complète, les pôles se retrouveront sur les diamètres qu'indique la figure, mais N et S auront pris la place de N' et S', et réciproquement.

Il résulte de ce qui précède, que si, avec un inducteur comportant seulement deux pôles, le champ fait un tour complet en une période (v. fig. 174 et suivantes) il faut deux périodes pour une révolution du champ lorsqu'il y a quatre pôles; autrement dit et d'une façon générale, *la vitesse angulaire du champ diminue lorsque le nombre des pôles augmente*; et, comme, d'autre part, l'allure du moteur se règle d'elle-même sur celle du champ (v. p. 241) on a là un moyen de déterminer par construction le régime d'un moteur, la fréquence de la source étant donnée. Par exemple, si cette fréquence est de 60 périodes par seconde, le champ, avec deux pôles, fera, dans le même temps, 60 tours; cette vitesse angulaire sera réduite à 30 avec 4 pôles, à 20 avec 6 pôles, à 15 avec 8 pôles, à 12 avec 10 pôles, etc.

Nombre des fils de ligne. — Le fil de retour R (fig. 178) n'est pas indispensable dans tous les cas; en effet, reportons-nous à la figure 166 (p. 215) nous y voyons que, si les intensités sont les mêmes dans les trois circuits, leur somme algébrique est nulle *à tout instant*; par exemple, au temps *t*, l'intensité positive *t* A est égale à la somme des deux intensités négatives *t x*, et la résultante est zéro. De même, au temps *t'*, l'intensité négative C est égale et contraire à la somme des deux intensités positives A et B, et ainsi de suite. Le fil de retour devient donc ici inutile et peut être supprimé; on peut se borner à réunir les trois sorties

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des circuits au moyen d'une connexion qu'on appelle *point neutre*. En effet, si, au temps *t* (fig. 166) le circuit A, fournit, par exemple, 1 ampère positif, celui-ci se fermera sur les deux autres circuits B et C, à raison de 1/2 ampère pour chacun d'eux et aura, en retournant à l'alternateur, la direction *négative* et l'intensité qui correspondent précisément aux forces électro-motrices en jeu à ce moment dans ces deux dernières branches. Si les trois circuits sont inégalement chargés, le fil de retour devient nécessaire; on a encore, il est vrai, la ressource de mettre le point neutre à la terre, tant à l'alternateur qu'au moteur : les trois circuits deviennent alors indépendants.

Champs tournants par courants monophasés. — Des courants monophasés, grâce au champ alternatif qu'ils engendrent, sont également susceptibles d'entrainer un induit, à la condition qu'on lui donne, au préalable, l'impulsion initiale; l'induit ne démarre pas seul, parce qu'aucune raison ne peut faire qu'il se mette à tourner dans un sens plutôt que dans l'autre. Il est cependant possible d'obvier à cet inconvénient en créant, dans l'inducteur, un champ tournant, bien que le courant soit monophasé. Pour cela, divers dispositifs sont mis en pratique; tous se résument en ceci : l'une des paires de bobines d'un moteur *diphase* étant alimentée directement par l'alternateur, l'autre paire reçoit des courants de la même source, mais décalés artificiellement par rapport aux premiers : les courants monophasés sont donc, en quelque sorte, diphasés, et le champ tournant engendré. Mais celui-ci est irrégulier, le décalage restant toujours inférieur à un quart de période; aussi est-il avantageux de supprimer le circuit décalé dès que le moteur a démarré; on ne donne à ce *circuit auxiliaire* que juste l'enroulement nécessaire à son rôle temporaire, réservant au *circuit principal* tout le reste de l'anneau. La figure 179 montre schématiquement

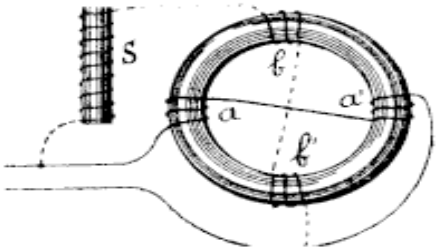


Fig. 179. — Alternomoteur monophasé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'un de ces dispositifs : une bobine de self-induction S, intercalée dans le circuit des bobines *bb'*, entraine un décalage en retard des courants dans celle-ci (v. p. 217) par rapport à ceux qui parcourent les deux autres *aa'*.

La self-induction peut être remplacée par un condensateur de capacité convenable, placé dans les mêmes conditions; le décalage est alors en avance (v. p. 219) ce qui, pour le résultat cherché, revient au même.

Constitution d'un alternomoteur. — Un alternomoteur se compose d'une partie fixe ou inducteur et d'une partie mobile ou induit.

1° *Inducteur.* — La partie fixe, qui peut affecter l'une des deux formes, anneau ou tambour, est constituée par des feuilles de tôle vernies ou isolées les unes des autres à l'aide de papier paraffiné, afin d'éviter les courants de Foucault; de plus, dans le but d'obtenir une concentration plus parfaite du flux magnétique sur l'induit, l'enroulement, au lieu d'envelopper complètement la masse métallique, laisse libre la face interne; à cet effet, les disques de tôle, qui, par leur réunion, forment l'anneau ou le tambour, sont percés de trous (fig. 180) dont l'ensemble donne des rainures dans lesquelles est noyé le fil conducteur. Dans les exemples ci-dessus, nous avons employé systématiquement la forme d'anneau, parce qu'elle se prête mieux à la démonstration; mais les mêmes enroulements peuvent être appliqués à la forme tambour : la figure 181, montre le développement d'un enroulement triphase, à quatre pôles, qui est, sur un tambour, la reproduction de celui de la figure 178 (p. 242), où nous avons représenté un anneau; on remarque qu'il comporte trois fils de ligne seulement et un « point neutre » (v. p. 243).

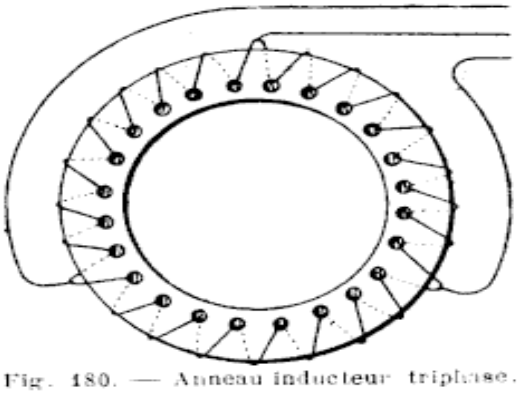


Fig. 180. — Anneau inducteur triphasé.

De même, nous donnons plus loin (fig. 182) le dévelop-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

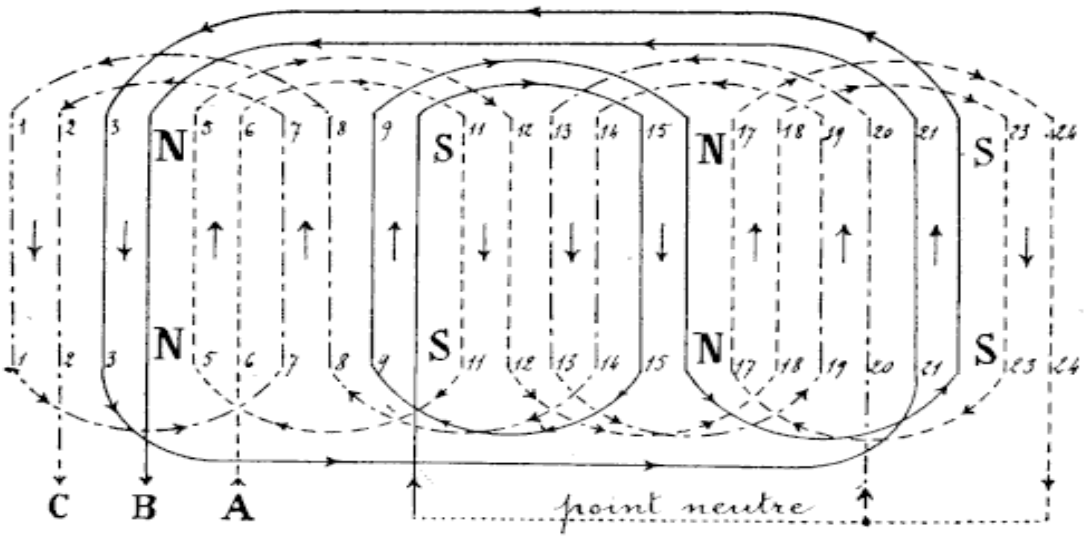


Fig. 181. — Tambour triphasé tétrapolaire.

pement d'un tambour-inducteur tétrapolaire pour courants monophasés, analogue à l'anneau de la figure 179 et dans lequel le circuit principal est en trait plein et le circuit décalé

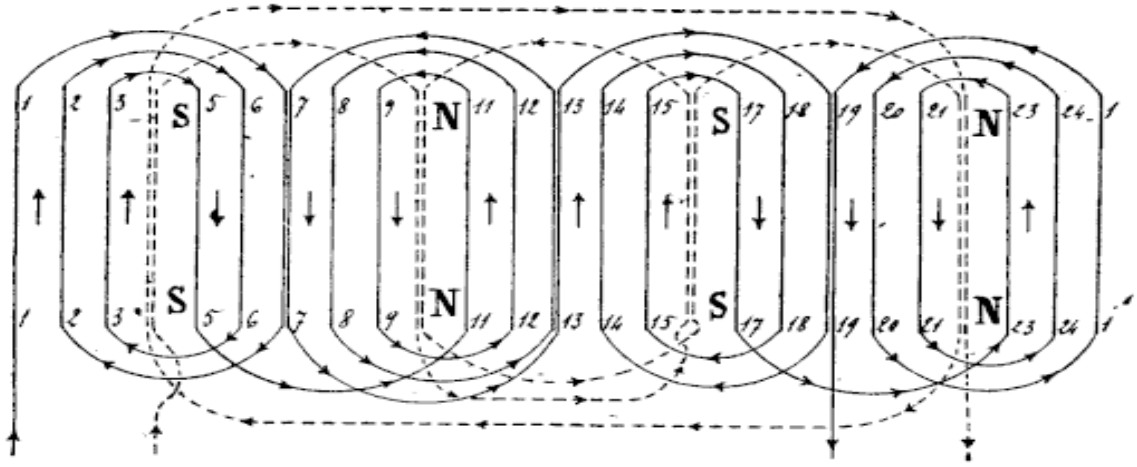


Fig. 182. — Tambour monophasé tétrapolaire.

en pointillé. Ce sont les deux principaux types des moteurs utilisés par l'Administration pour le remontage des poids.

2° *Induit.* — L'induit pourrait consister en un simple cylindre de fer ou même de cuivre : ce seraient, dans ce cas, les courants de Foucault qui détermineraient l'entraînement. Mais un induit ainsi constitué serait d'un rendement peu avantageux, à cause des pertes résultant de la disper-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sion des courants induits dans la masse du cylindre. Or, sont seuls réellement efficaces ceux qui circulent normalement au champ magnétique; obliquement, ils n'agissent que suivant une résultante et, perpendiculairement, ils restent sans effet. Il était donc avantageux de les *canaliser* dans la direction la plus favorable : c'est à cette préoccupation que répondent les différents dispositifs que nous allons examiner.

La figure 183, donne le profil d'un cylindre induit : il est en tôle feuilletée, comme l'anneau ou le tambour inducteur et pour les mêmes raisons; son pourtour est entaillé de gorges ou canelures, suivant des génératrices; dans ces gorges sont placés des conducteurs en cuivre de gros diamètre, et, par suite, peu résistants, dans lesquels doivent circuler les courants d'induction.

Cette disposition a pour avantage de permettre de réduire au strict minimum, $1^{m}/^{m}$ par exemple, l'intervalle entre le cylindre et l'inducteur, c'est-à-dire l'*entrefer*; en diminuant ainsi la réluctance, on augmente l'intensité du champ et on évite les *fuites magnétiques*, qui sont des pertes d'énergie.

Les conducteurs en cuivre sont réunis deux à deux, de manière à former une série de cadres, dont chacun est un circuit complet, condition indispensable, nous le savons, à la circulation des courants induits; ces liaisons sont établies suivant le nombre de pôles du champ inducteur; celles de la figure 183 correspondent à un champ bipolaire. On voit, en effet, que, lorsque l'un des conducteurs, se trouvant à proximité du pôle nord, est parcouru par un courant allant, par exemple, d'arrière en avant, celui auquel il est relié, situé près du pôle sud, est le siège d'un courant se dirigeant d'avant en arrière : les deux actions s'ajoutent donc, comme il convient.

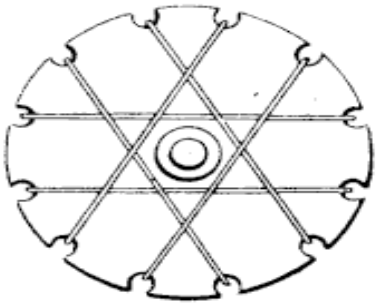


Fig. 183. — Induit bipolaire.

Il n'en serait pas de même si un tel induit était

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

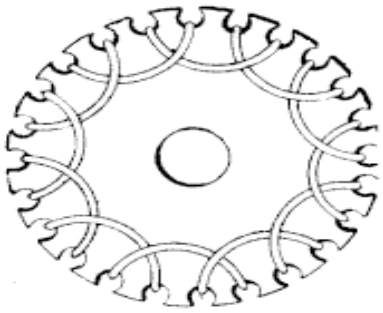


Fig. 184. — Induit tétrapolaire.

placé dans un champ tétrapolaire (v. fig. 178 p. 242); les deux conducteurs opposés se trouveraient toujours en face de pôles de même nom et leurs actions tendraient à se neutraliser. On emploiera alors divers modes de liaisons, tels que celui de la figure 184, qui s'applique à champ triphasé à quatre pôles.

On pourra encore faire usage du dispositf dit à *lanterne* ou *en cage d'écureuil*, représenté figure 185; les conducteurs sont mis purement et simplement en court-circuit, à chaque extrémité du cylindre, par une couronne de cuivre à laquelle ils sont rivés ou soudés.

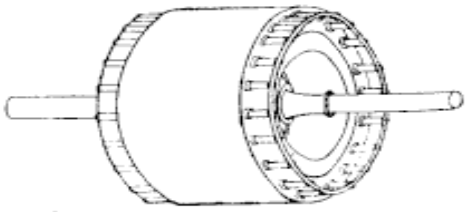


Fig. 185. — Induit cage d'écureuil.

Wattmètre. — La description des différents systèmes de wattmètres ne rentre pas dans le cadre qui nous est tracé; nous nous bornerons donc à indiquer sommairement le principe de l'un d'entre eux, qui, fonctionnant à la façon des moteurs à champ tournant, est d'un exposé facile : un cylindre C, en cuivre (fig. 186) peut pivoter entre quatre pôles inducteurs; l'enroulement de l'une des paires de pôles est en gros fil et embroché dans la ligne d'arrivée L; celui de l'autre paire, en fil fin, constitue une dérivation entre les deux fils de ligne L et L'; enfin ce dernier circuit est agencé de manière à offrir une grande self-induction et, par suite, à y décaler les courants, comme nous l'avons vu plus haut. Le champ tournant tend à entraîner le cylindre C, malgré un ressort antagoniste non représenté sur la figure; une aiguille, solidaire du cylindre et pouvant se déplacer sur un cadran, indique le point

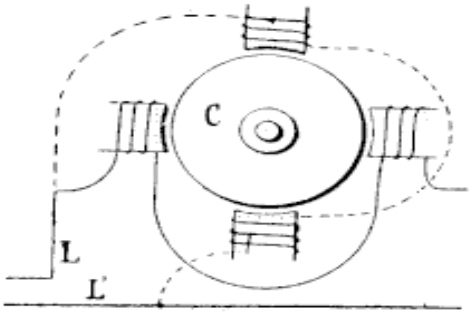


Fig. 186 — Wattmètre de Ferraris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où l'action du champ tournant et celle du ressort antagoniste se font équilibre : ce point correspond à la *puissance réelle* fournie au circuit. La graduation du cadran est faite par comparaison.

Avantages des courants alternatifs. — La construction des alternateurs est, en général, plus simple que celle des dynamos à courant continu ; le collecteur, notamment, se réduit à des bagues pleines et est même supprimé dans les machines à induit fixe et inducteur mobile, d'où suppression des étincelles et de mille autres inconvénients. Mais l'avantage principal des courants alternatifs est qu'ils permettent le transport à distance de l'énergie électrique dans des conditions incomparablement plus économiques que les courants continus. En effet, la chaleur développée dans un circuit par le passage du courant, constitue une perte d'énergie, et a pour mesure le produit de la résistance par le carré de l'intensité :

$$c = RI^2,$$

d'autre part, la *puissance* électrique est comme nous l'avons dit (p. 225) le produit de la force électromotrice par l'intensité :

$$P = EI,$$

nous voyons clairement que, pour transporter une puissance donnée, nous aurons avantage à la produire sous une forme telle que E soit aussi grand que possible, afin de pouvoir réduire I au minimum. Ne perdons pas de vue, à ce propos, que, dans la formule de la chaleur développée, I varie en raison du carré et que, par suite, si nous arrivons à faire I deux fois, trois fois, quatre fois plus petit, la perte en chaleur sera respectivement quatre fois, neuf fois, seize fois moindre.

Les dynamos à courant continu présentent quelques points faibles, le collecteur, notamment, qui leur interdissent les très haut voltages, et on leur demande rarement plus de 7 à 800 volts. Avec les alternateurs, au contraire, les forces électromotrices de plusieurs milliers de volts

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont d'usage courant, et l'on se trouve dans les meilleures conditions pour transporter l'énergie avec le minimum d'intensité, c'est-à-dire avec le minimum de perte ; ou encore, si le transport a lieu à longue distance, on peut réduire la section du conducteur en même temps qu'on augmente le voltage sans majorer la perte, puisqu'on diminue proportionnellement l'intensité : on atténue alors les frais d'établissement de la ligne ; c'est dans cet ordre d'idées qu'en faisant usage, au départ, de transformateurs-élévateurs (v. p. 232), on a atteint parfois — et même dépassé, paraît-il — le chiffre fantastique de 25,000 volts. Des transformateurs réducteurs, au point d'utilisation, ramènent l'énergie reçue aux proportions qui conviennent, en volts et en ampères.

En ce qui concerne plus spécialement les courants polyphasés, il va sans dire que si, au lieu d'un seul jeu de bobines, nous en plaçons deux, trois sur le même induit, il faudra, pour entraîner l'alternateur, une puissance mécanique deux, trois fois plus grande, puisqu'on veut produire une puissance électrique deux, trois fois plus grande ; mais, d'une part, le prix de revient de l'alternateur sera loin de s'accroître dans la même proportion et il ne sera pas plus encombrant, ce qui constitue déjà un avantage appréciable ; d'autre part et surtout, les courants polyphasés ont ouvert à l'utilisation des courants alternatifs un vaste domaine, par la facilité avec laquelle ils permettent de créer des *champs tournants*, dont nous avons indiqué le principe, à propos des moteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVI

REMONTOIRS AUTOMATIQUES

Remontoir électrique. — La figure 187 montre, sous forme de schéma, l'agencement du remontoir électrique: par l'intermédiaire d'une courroie C, le moteur, M, actionne une poulie, P, sur l'axe de laquelle est entaillée une vis sans fin, V; celle-ci commande à son tour, une roue dentée, R^1, un petit pignon, p, solidaire de la roue R^2 par l'intermédiaire d'un cliquet, C^1, dont nous parlerons plus loin, engage, en tournant, ses dents dans les mailles de la chaine de Galle, qui supporte le poids moteur, Pm. Cette action

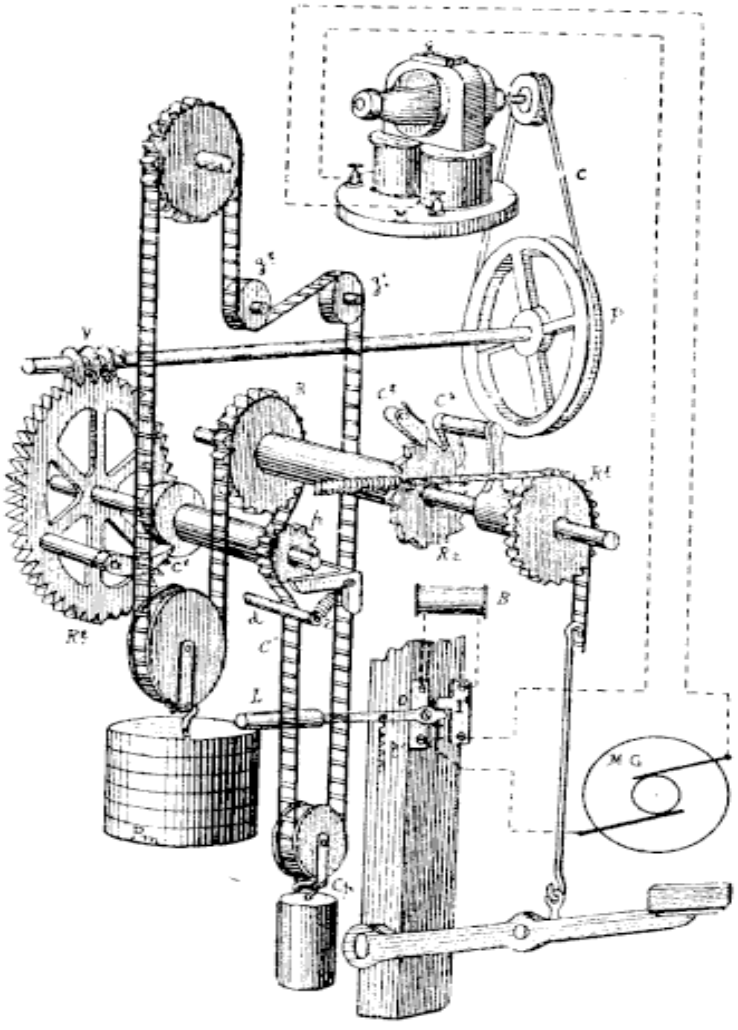


Fig. 187 — Remontoir électrique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ayant lieu sur la partie C', comprise entre le contre-poids, Cp, et la roue R, il en résulte, sur cette dernière, une traction, qui la fait tourner dans le même sens que le remontoir à pédale (v. p. 160) : le cliquet de retenue, C, permet ce mouvement, le poids Pm remonte et le contre-poids, Cp, descend.

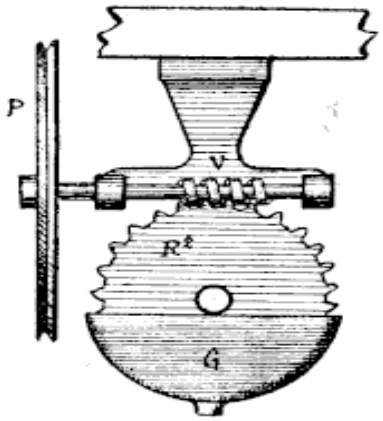


Fig. 188.

L'axe de la vis sans fin, V, et de la poulie, P, est porté par deux paliers, montés sur un bâti en fonte, fixé sous la table de l'appareil; ce bâti sert également à soutenir l'axe de la roue dentée, R², sur laquelle agit la vis sans fin; la roue, R², plonge dans un godet, G (fig. 188), qu'on remplit d'huile lourde, dans le but d'adoucir le frottement de la vis sur les dents de la roue. La vis doit faire 100 tours pour que la roue en accomplisse un; et, comme le diamètre de la poulie P, est, suivant les systèmes de moteurs, de 2 1/2 à 3 fois plus grand que celui de la poulie de ce dernier, on voit combien est grande la vitesse du moteur par rapport au pignon p (fig. 187).

La roue R², montée à frottement doux sur l'axe du pignon, p, est rendue solidaire de celui-ci par l'intermédiaire d'un cliquet, c (fig. 189), fixé derrière la dite roue et qui, sollicité par un ressort-lame en acier, R, vient s'appuyer contre un épaulement porté par l'axe, A, du pignon. Cette disposition a pour but de permettre, en cas d'interruption momentanée de la force motrice, de faire usage aussitôt du remontoir à pédale : la partie de la chaîne, C, (fig. 187), appliquée sur le pignon, p, doit pouvoir, en descendant sous l'action du contre-poids, faire tourner, dans ce dernier cas, le dit pignon, sans quoi elle s'accumulerait et pourrait s'entortiller autour de la roue R : le pignon doit donc être entraîné par la roue R², lorsque le moteur fonctionne, mais

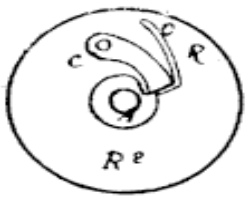


Fig. 189.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne pas entraîner celle-ci dès qu'on se sert du remontoir à pédale. Il est bon, toutefois, d'ajouter que, dans la pratique, l'axe du pignon, encrassé, n'est pas toujours suffisamment libre pour tourner sous la seule action du contrepoids. Dans ce cas, il faut, avant de remonter au pied, décrocher le petit doigt, *d*, du ressort à boudin, *r*, qui l'applique contre la chaîne : celle-ci peut alors glisser le long du pignon sans le faire tourner.

Remontoir Aubry. — Il existe également, au Poste Central, un système de remontoir automatique, dans lequel le pignon, *p*, n'actionne pas directement la chaîne C'. Le remontoir à pédale a été modifié de la façon suivante : le cliquet d'entraînement C^3 (fig. 187) a été rendu complètement indépendant de la roue de chaîne R^1; deux crochets permettent de l'attacher, d'une part à la chaîne de la pédale, d'autre part au ressort à boudin antagoniste de celle-ci. La roue R^1, au contraire, a été rendue solidaire du rochet R*r* et, par suite, de la roue de retenue, R; de plus le pignon, *p*, est relié, par une chaîne sans fin, à la roue R^1, qu'il entraîne et le remontage s'opère. A ce détail près, ce système fonctionne comme le précédent; il offre l'avantage de permettre de placer le remontoir dans une position qui le rend plus accessible pour le graissage.

Remontoir Galoché et Maillé. — Le remontoir Aubry a subi, à son tour, une modification; celle-ci consiste dans la suppression de la chaîne sans fin qui, dans le premier, relie le pignon, *p*, (fig. 187) à la roue R^1, rendue solidaire du rochet R*r*. A cet effet, la roue R^1, est remplacée par une roue plus grande et dentée de manière à pouvoir venir engrener directement avec le pignon *p*; la chaîne offre l'inconvénient de s'allonger par l'usage et, quelquefois, de se rompre. Le dernier système supprime ces inconvénients, sans paraître en introduire d'autres, équivalents.

Interrupteur. — Lorsque le poids, remonté automatiquement, arrive au haut de sa course, il importe d'interrompre l'action du moteur; on évite ainsi que le poids vienne s'arc-bouter sous la table et exercer sur la chaîne une trac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion exagérée. C'est le but des différents systèmes d'interrupteurs, qui rompent le circuit du moteur au moment voulu.

L'interrupteur, représenté sur la figure 187 se compose d'un levier métallique, mobile autour d'un point O sur la grande branche duquel agit un ressort à boudin, r', qui, en abaissant celle-ci, oblige l'autre branche à s'appuyer, par son extrémité argentée, I, contre une prise de contact, I', également garnie d'une petite goutte d'argent, afin d'assurer, entre les deux pièces, une bonne communication électrique. Le levier étant relié à l'un des pôles de la dynamo génératrice et la pièce I' à l'entrée du moteur, celui-ci tourne et le poids remonte. La branche L du levier interrupteur est terminée par une sorte de manchon isolant, en bois, qui se trouve placé sur la trajectoire ascensionnelle du poids : dès que celui-ci est arrivé à la hauteur convenable, il rencontre le manchon, le soulève avec lui et fait pivoter le levier autour du point O : l'extrémité I quitte le contact I'. Le circuit étant ainsi coupé, le moteur s'arrête, le poids redescend ; sous l'action du ressort, r', le levier suit ce mouvement, I et I' se rapprochent, le courant se rétablit dans le moteur, qui remonte le poids d'une certaine quantité, et ainsi de suite.

Dans le but d'éviter, ou, tout au moins, d'atténuer l'étincelle entre I et I', au moment de l'interruption, ces deux contacts sont reliés en permanence par une bobine, B, ou *shunt*, formé de spirales de fil de maillechort, rayonnant à l'air libre ; sa résistance est calculée de manière que, lorsque I et I' se quittent, le courant qui passe par la bobine pour se rendre au moteur soit impuissant à entretenir son mouvement. Mais le circuit se trouve, ainsi, seulement dérivé et l'étincelle est, par suite, considérablement atténuée.

Interrupteur Damiens. — L'interrupteur décrit ci-dessus maintient le poids sensiblement à la même hauteur, en ne le faisant remonter que de très petites quantités à la fois ; mais, comme le shunt ne supprime pas totalement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'étincelle, celle-ci se reproduit forcément à des intervalles très courts et finit, à la longue, par détériorer les contacts.

Un autre système, que nous allons examiner, ne fait opérer le remontage que lorsque le poids est près de toucher le sol et n'interrompt que quand il est en haut de sa course. Le nombre d'interruptions — et, par suite, d'étincelles — dans un temps donné, se trouve notablement diminué.

Ce système est ainsi constitué : Sur une planchette, fixée à l'un des pieds de la table, deux blocs en laiton, A et B, mobiles autour d'un axe et maintenus par une vis, sont réunis par un ressort-lame, L. Le bloc supérieur, A, et la pièce cylindrique, E, fixe sur la planchette, correspondent aux contacts I et I' du système précédent : c'est entre eux qu'aura lieu l'interruption; ils sont munis de contacts en argent. La pièce E est reliée électriquement à la borne C, et le pivot du bloc B à une autre borne, D. L'une communique avec la source électrique, l'autre avec le moteur. Dans la situation que représente la figure 190, le circuit est fermé et le poids remonte. Au fur et à mesure de son ascension, celui-ci soulève avec lui une très longue branche du levier M, isolée, à son extrémité, par un manchon en bois; le levier pivote autour du point O. Dans ce mouvement, la branche G d'une sorte de fourche arrondie, solidaire du levier M, pousse devant elle un appendice, F, porté par le bloc B. Celui-ci pivote autour de son axe, entraînant le ressort-lame, L, qui se bande de plus en plus; bientôt le dit ressort fait brusquement basculer le bloc A, dont le contact argenté quitte aussitôt celui de la pièce E. La dérivation, établie dans le système précédent, est supprimée dans la plupart des cas, la brusquerie avec laquelle a lieu la rupture donnant une durée très courte à l'étincelle; et comme celle-ci se produit à des intervalles plus rares, la détérioration des contacts devient négligeable, eu égard à la dépense de courant qui résulte de la dérivation.

Le moteur étant arrêté, le poids descend, entraînant le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

levier M, dont la fourche, par sa branche H, viendra bientôt rencontrer l'appendice F : le bloc, B, pivotera en sens inverse, jusqu'à ce que le ressort L fasse basculer le bloc A et rétablisse le circuit; la longueur du levier M a été calculée de telle sorte que cette action ait lieu au moment où le poids se trouve très près du sol. Le remontage s'opère jusqu'au point où une nouvelle interruption se produira : le poids sera alors au haut de sa course.

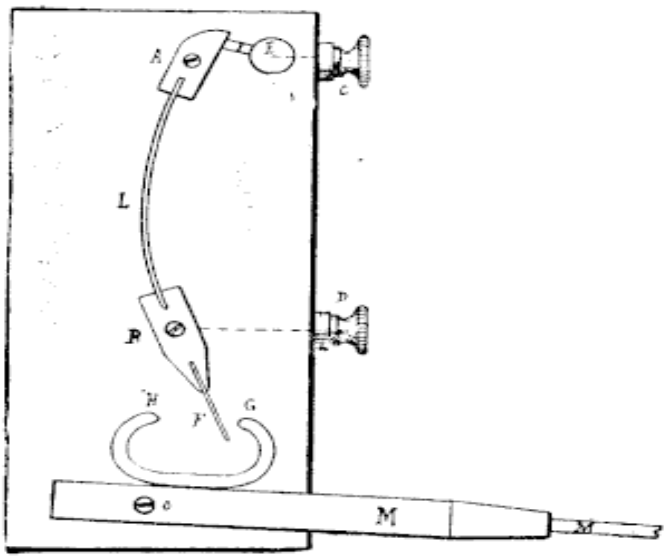


Fig. 190. — Interrupteur Damiens.

Ce dispositif présente, toutefois, un inconvénient : la rupture du ressort bandé et la difficulté de son remplacement par suite de sa solidarité avec les pièces A et B. Dans les nouveaux modèles, ces pièces sont fixes et le ressort est simplement engagé dans des encoches dont elles sont entaillées (v. fig. 193). A cet effet, le ressort porte, à chacune de ses extrémités, un évidement dont les saillies assurent sa stabilité dans les encoches de A et B; il porte une partie platinée, P, pour le contact électrique et c'est sur le ressort même qu'agit la fourche H G, solidaire du levier M.



Fig. 191

Commutateur. Coupe-circuit. — Les communications entre la machine génératrice et les différents moteurs sont établies comme l'indique la figure 192, ci-après : sur chaque « tambour » de Hughes, se trouve un commutateur rond, ou commutateur interrupteur, CI, auquel aboutit, d'un côté un pôle de la machine, G, de l'autre, le fil qui conduit le courant aux moteurs du « tambour »; les deux communications peuvent être réunies ou isolées l'une de l'autre par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le déplacement, d'une barre, B, à l'aide d'une poignée extérieure. Le courant est, ensuite, conduit à un « coupe-circuit », CC, constitué par deux barres transversales, en laiton, reliées, l'une, par l'intermédiaire du commutateur CI, au pôle positif, l'autre directement au pôle négatif de la machine génératrice. Perpendiculairement à ces deux barres, se trouvent, en nombre égal à celui des moteurs, de petits plots rectangulaires, portant chacun deux vis; l'une de celles-ci serre sous sa tête un bout de fil de plomb, fusible sous la chaleur développée par un débit de 1 ampère, et dont l'autre extrémité est attachée, de la même façon, à la barre transversale. La seconde vis de chaque plot conduit le courant à l'une des bornes de l'interrupteur I : il passe, suivant la position de celui-ci, soit directement à la seconde borne, soit en traversant le shunt, S, s'il existe et, de là, au moteur, le parcourt et revient à la deuxième barre du coupe-circuit, par l'intermédiaire d'un deuxième plomb fusible, pour regagner ensuite la machine, G. Si un débit anormal, résultant d'un court-circuit, venait à se produire, les plombs seraient fondus et le moteur en cause serait isolé du reste de l'installation.

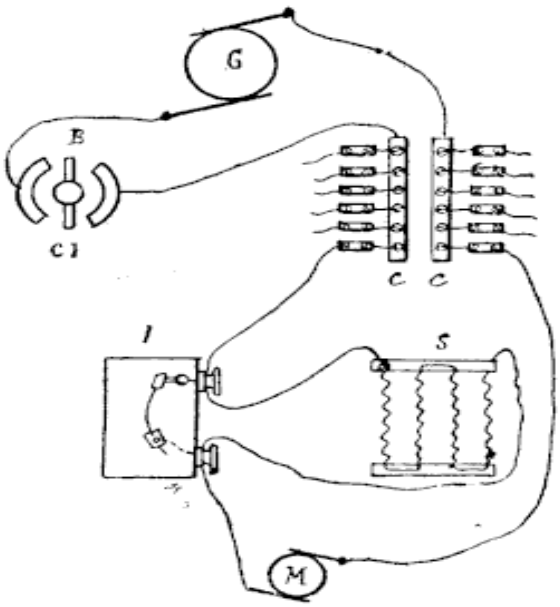


Fig. 192. — Circuit d'un moteur.

Remontoir avec alternomoteur. — Le remontoir proprement dit est le même, cela va sans dire, qu'il s'agisse d'un moteur à courant continu ou d'un alternomoteur; seul, l'interrupteur diffère.

S'il s'agit de courants monophasés, l'interrupteur est constitué comme le précédent (fig. 190 et 191), mais le levier M porte en outre un petit ressort, *r* (fig. 193), qui, à la fer-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

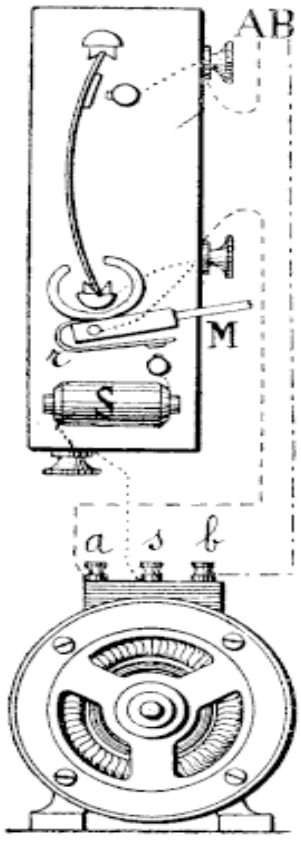


Fig. 193. — Interrupteur pour moteur monophasé.

meture du circuit principal, vient au contact d'une butée reliée à une bobine de self-induction, S, destinée à produire le décalage du circuit auxiliaire (v. fig. 179 et 182). Dès que le démarrage est opéré, le poids, en remontant, soulève le levier M, qui sépare le ressort *r* de sa butée : le circuit auxiliaire est interrompu, tandis que le principal reste fermé jusqu'à ce que le poids soit en haut de sa course.

Pour les courants bi ou triphasés, le ressort bandé ne sert plus de communication électrique; il porte une sorte de doigt *d*, (fig. 194), en ivoire ou en ébonite, qui peut pousser devant lui deux autres ressorts, *r* et *r'* rendus solidaires par un isolant *i*. Lorsque cette action a lieu, les ressorts *r* et *r'* viennent au contact de leurs butées respectives, et les fils de ligne A et B sont fermés sur le moteur, le troisième, C, étant relié directement. Nous savons en effet (v. p. 243) que, dans un système triphasé, le nombre des conducteurs peut être réduit à trois.

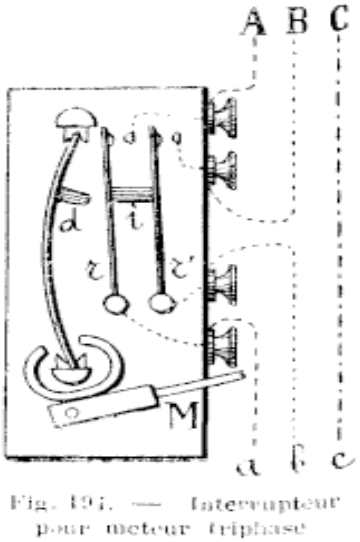


Fig. 194. — Interrupteur pour moteur triphasé

Remarque. — Lorsqu'au montage on constate que le moteur ne tourne pas dans le sens voulu, il suffit d'intervertir les fils A et B, soit à l'interrupteur, soit à l'entrée du moteur, pour inverser le sens de la rotation.

Remontoir pneumatique Popp. — Les remontoirs automatiques Popp, installés à Paris-Bourse, opèrent l'élévation des poids dans des conditions de fonctionnement et d'économie très satisfaisantes.

Ce système comprend un cylindre, D (fig. 195), dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel un piston, P, est ajusté, à la façon de ceux des machines à vapeur; à la tige de ce piston, on attache l'extrémité de la chaîne de Galle EE' qui, lorsqu'on remonte au pied, actionne la roue du remontoir à pédale. Le ressort antagoniste de celle-ci est remplacé par un contrepoids, I, suspendu à une corde et guidé par un galet : c'est la seule modification qu'ait entraînée l'application du système Popp aux appareils Hughes et Baudot.

On conçoit que, si l'on fait arriver de l'air comprimé dans le cylindre, le piston sera repoussé, entraînera avec lui la tige, H, et la chaîne, qui fera tourner la roue F, exactement comme lorsqu'on remonte à l'aide de la pédale. Il faudra ensuite ouvrir le corps de pompe, pour permettre

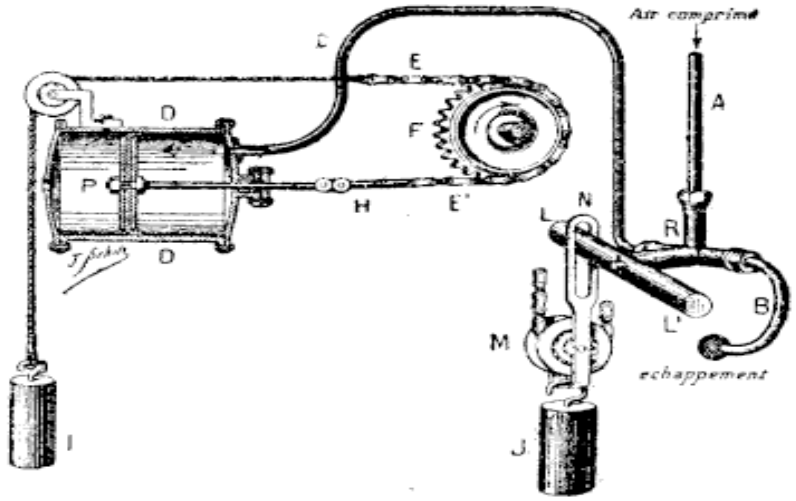


Fig. 195. — Remontoir Popp

à l'air comprimé de s'échapper et au contrepoids, I, de ramener le piston à sa position primitive.

Cette commutation se fait à l'aide d'un robinet, dont nous donnons la coupe (fig. 196) : trois tubes, A, B et C, communiquent respectivement au réservoir d'air comprimé, à l'air libre et au cylindre ou corps de pompe. Le robinet, manœuvré par une poignée extérieure, LL', est agencé de telle sorte que le tube C sera, dans la position 1, mis en communication avec celui d'air com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

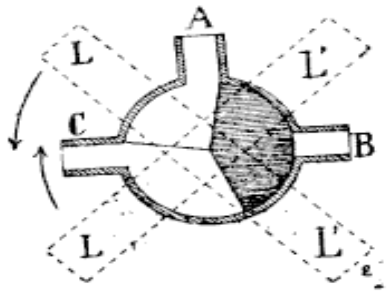


Fig. 196. — Robinet Popp.

primé, A, et, dans la position 2 directement à l'air libre, B : l'obturateur se plaçant toujours devant l'un de ces derniers orifices, tandis que celui de C est constamment laissé libre.

La manœuvre périodique du robinet se fait automatiquement de la façon suivante : la poignée , LL' (fig. 195), est creuse et renferme 3 à 4 centimètres cubes de mercure ; elle s'engage, par l'une de ses extrémités, dans une ouverture oblongue, pratiquée sur un appendice fixé à la chape du contrepoids de l'appareil, J. Supposons que la poignée soit dans la position 2, le cylindre est en communication avec l'air comprimé : le poids-moteur remonte, le contrepoids, J, descend ; il entraîne avec lui, par son appendice, la poignée du robinet : dès que celle-ci a légèrement dépassé l'horizontale, le mercure qu'elle renferme se précipite vers la gauche et la fait brusquement basculer jusqu'à la position 1. Dans ce mouvement, l'obturateur vient se placer devant l'orifice d'air comprimé et démasque, en même temps, celui d'air libre. La pression à l'intérieur du cylindre s'égalise avec celle de l'atmosphère et le piston est ramené par son contrepoids spécial, I.

Pendant ce temps, l'appareil tournant, le poids-moteur descend, le contrepoids, J, remonte progressivement ; bientôt, il rencontre la poignée du robinet, arrêtée dans la position 1, la soulève jusqu'à ce que le mercure la fasse basculer à droite, mettant ainsi le cylindre en communication avec l'air comprimé ; un nouveau coup de piston remonte le poids moteur, et ainsi de suite.

Moteurs électriques appliqués directement aux rouages. — Le remontage automatique des poids par moteurs électriques ou autres, à côté des grands avantages que nous avons signalés, présente le grave inconvénient d'exiger une dépense de force assez considérable, comparée à celle très minime, qui serait suffisante pour mettre en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement les trois axes *utiles* de l'appareil : ceux de la roue des types, du chariot et du volant. En outre des axes purement intermédiaires, ce système exige la mise en action des différents rouages du remontoir automatique lui-même. La dépense d'énergie se trouverait donc notablement diminuée si l'on arrivait à supprimer ces organes accessoires, en appliquant la force motrice directement aux rouages qui effectuent un travail autre que celui de simple transmission du mouvement, — et en supprimant tout le reste. Cela permettrait de généraliser la construction de petits appareils ne comportant que les trois axes énumérés plus haut et d'un prix de revient sensiblement moindre. Par surcroît, on éviterait, dans des proportions considérables, la surcharge des planchers, qui est énorme dans les salles actuelles. Dans cet ordre d'idées, l'Administration a mis à l'essai, dans divers postes de Paris et de la province, de petits moteurs électriques qui actionnaient, par l'intermédiaire de roues d'angle, l'axe du volant; le poids était supprimé, soit par le désembrayage des troisième et quatrième axes, soit par le retrait de la chaîne de Galle.

L'inconvénient principal de cette application directe de la force motrice consiste dans la variation possible de l'énergie de la source électrique et l'impuissance dans laquelle, en cas d'à-coups brusques, se trouve le régulateur pour la compensation rapide. (Il convient cependant de noter ici des essais qui ont lieu en ce moment avec des moteurs à courant continu, dont la poulie, folle sur l'axe, est reliée à celui-ci par un fort ressort-spiral formant dynamomètre; l'élasticité de ce ressort s'oppose aux variations brusques et les résultats semblent plus satisfaisants.) D'autre part, si, comme c'est le cas au Poste Central de Paris, l'on puise directement sur la dynamo, sans l'intermédiaire d'accumulateurs, le service se trouve à la merci d'un arrêt de celle-ci, tandis qu'avec les remontoirs, on peut immédiatement, en pareil cas, faire usage de la pédale. C'est sans doute pour ces raisons que l'Administration ne semble pas disposée, pour l'instant, à entrer dans cette voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVI

COMMUNICATIONS ÉLECTRIQUES

Installation du poste. — Dans les postes autres que le Central de Paris, le fil de ligne aboutit à un paratonnerre à bobine, porté sur le même socle qu'un commutateur bavarois à trois directions : le courant arrivant de la ligne, après avoir traversé la bobine du paratonnerre, parcourt le cadre d'un galvanomètre, puis se rend au commutateur. Là, à l'aide d'une fiche, il peut être conduit, par le plot de gauche, dans un Morse; par celui du milieu, dans la sonnerie ou, par celui de droite, à l'appareil Hughes.

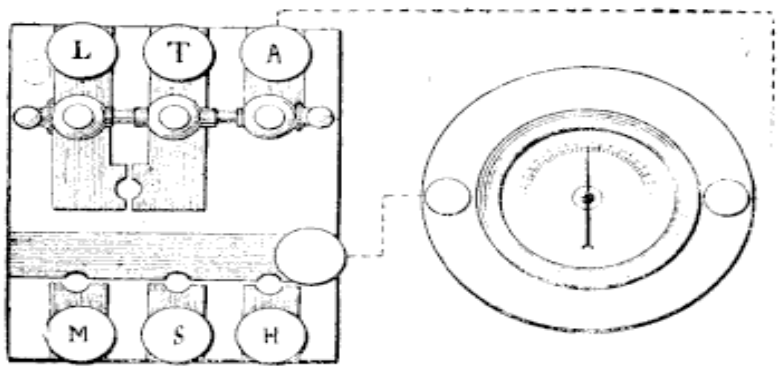


Fig. 197

La table de ce dernier présente, près du bord postérieur et un peu à droite, trois bornes, dont les boutons portent, chacun, l'une des lettres : L, T, P, correspondant, respectivement, à la ligne, la terre et la pile. A la première, on attache le fil venant du plot « Hughes » du commutateur de ligne; à la seconde, on relie la terre; dans certains postes, où le même appareil peut être appelé à desservir succes-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sivement des aériens ou des souterrains, le fil qui aboutit à la borne T vient d'un petit commutateur bavarois à deux directions, à l'aide duquel on relie à celle des deux terres qui convient au conducteur employé. (Dans le chapitre consacré aux lignes souterraines, nous indiquerons les raisons qui justifient l'emploi, pour celles-ci, d'une terre distincte de celle des lignes aériennes.) Enfin, la pile est amenée à la borne P.

Dans les postes où il est fait usage d'accumulateurs, il importe de protéger ceux-ci, pour le cas de courts-circuits, contre une décharge brusque et les accidents qui pourraient en résulter. A cet effet, sur le circuit « pile » et avant l'arrivée à la borne P, une griffe (fig. 198), ou coupe-circuit, est intercalée; elle est constituée par une pièce oblongue, en ébonite, aux extrémités de laquelle sont fixées deux vis portant chacune une petite tige en laiton recourbée à angle droit; les deux vis sont réunies par un petit boudin de fil de fer très fin et susceptible de fondre sous l'action de la chaleur développée par un débit de 1 ampère. Les tiges sont introduites dans les trous de deux bornes, communiquant, l'une avec le fil venant de la rosace des accumulateurs, l'autre avec la borne P de l'appareil. Si un court-circuit vient à se produire dans ce dernier, le débit, très intense, détermine la fusion du fil protecteur et l'appareil fautif est mis hors circuit, sans que les autres, qui puisent au même accumulateur, en soient gênés. L'agencement très simple de cette griffe, qu'on appelle communément la « souris », permet son remplacement facile, après qu'elle a été brûlée.

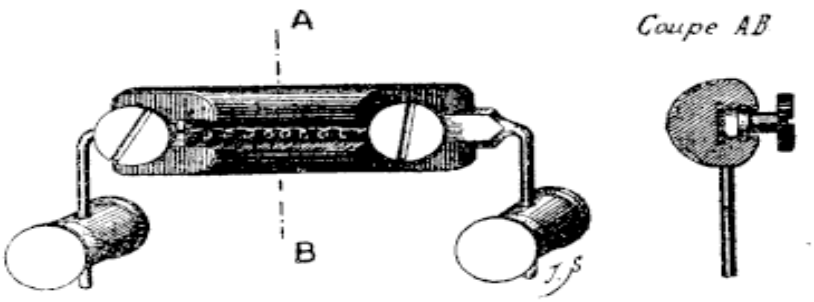


Fig. 198. — Coupe-circuit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Boîte d'entrée du poste Blanchon. — Au Poste central de Paris, les anciennes rosaces de lignes et de piles sont remplacées par des meubles analogues à ceux du téléphone; les tableaux de voltages comportent, en nombre égal à celui des conjoncteurs, des lampes-résistances, représentant 3 ohms par volt et à travers lesquelles les prises des piles sont renvoyées aux appareils; le fusible décrit ci-dessus est supprimé : lorsqu'un court-circuit vient à se produire sur un poste, le débit maximum possible est donc de 1 /3 d'ampère; en outre, la lampe , sous ce débit anormal, s'allume et avertit ainsi du dérangement.

Les circuits de lignes et de piles sont à double fil : l'ancien câble de terre n'existe plus; les fils de retour des lignes vont prendre terre au répartiteur d'entrée, ceux des piles reviennent individuellement aux meubles de voltages, d'où un retour commun les relie à la terre des batteries.

Cette disposition permettrait éventuellement l'emploi du double fil sur tout ou partie d'une communication, pour la soustraire aux influences, telluriques ou autres, qui viendraient l'entraver; on emploierait, bien entendu, dans la partie souterraine, les deux brins d'une même paire, qui sont cordelés ensemble, ce qui neutralise les effets d'induction résultant des transmissions voisines.

Le commutateur à paratonnerre est remplacé par la boîte d'entrée de poste, due à M. Blanchon. Cette boîte que la figure 199 représente schématiquement, renferme à la fois la sonnerie et un commutateur agencé pour le double fil. A la partie arrière du socle se trouvent quatre bornes, recevant de l'extérieur les deux fils de pile et les deux de ligne (aller et retour); à l'intérieur, ces bornes communiquent avec les ressorts de trois conjoncteurs, correspondant, respectivement, de gauche à droite, au Morse, à la sonnerie et au Hughes. La fiche qu'on enfonce dans ces conjoncteurs est sans cordon et constituée uniquement par une boule et deux anneaux métalliques (fig. 200) isolés les uns des autres par de l'ébonite, et qui réunissent deux à deux les ressorts. En suivant les communications du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

schéma, on voit que, lorsque la fiche est placée dans le conjoncteur de Hughes ou de Morse, la pile et la ligne sont renvoyées aux bornes correspondantes de l'avant; la borne L_2, qui est reliée à la borne T de l'appareil, commu-

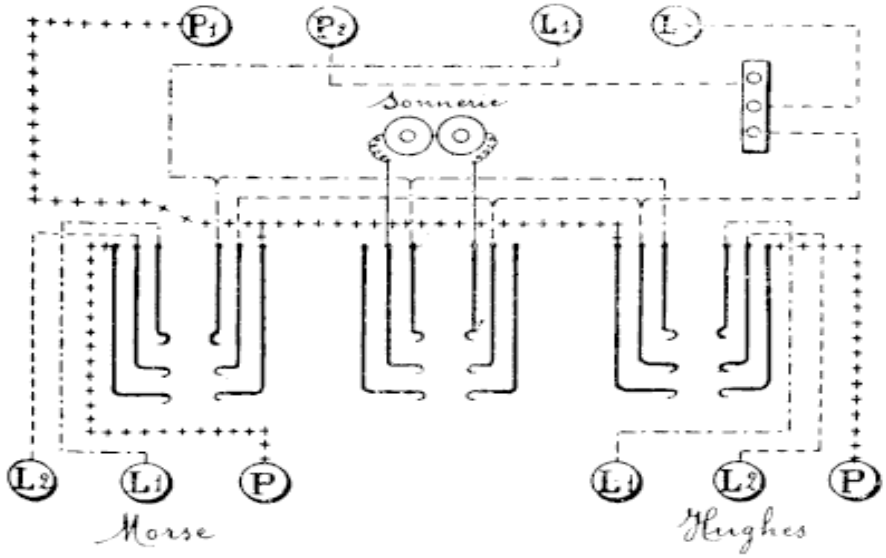


Fig. 199. — Boîte W Blanchon.



Fig. 201. — Fiche.

nique, par la fiche et la seconde paire de ressorts, avec la « barre de retour commun », à laquelle est rattaché le fil de retour, P_2, de la pile. Lorsqu'on met la fiche dans le conjoncteur du milieu, les deux fils de ligne, 1 et 2, sont reliés respectivement à l'entrée et à la sortie de la sonnerie; la pile est alors isolée.

Le paratonnerre, qui se trouvait précédemment sur chaque poste, est remplacé par un fusible placé sur le répartiteur d'entrée, entre la partie souterraine du conducteur et la communication allant vers l'intérieur.

Appareil modèle 1879. — Il existe, actuellement, deux agencements différents des communications électriques, dont l'un s'applique à tous les postes, en général, sauf le Central de Paris, l'autre spécial à ce dernier, où, pour des raisons que nous indiquerons, elles ont dû être modifiées.

Le premier type d'installation est celui que nous montre la figure 201, ci-après ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les communications venant de l'extérieur sont amenées aux trois bornes L, T, P, comme nous venons de le dire; — la pile est reliée à la vis supérieure de butée du levier de transmission; — la terre est amenée à l'un des segments du commutateur inverseur M', au support de l'armature et à un plot *m*, dont nous parlerons plus loin; la ligne communique avec le massif de l'appareil et une manette M.

A la transmission, le trajet du courant est simple : le levier L, soulevé, vient s'appliquer contre la vis supérieure *p*; la pile se trouve ainsi mise en communication avec le massif et la ligne.

A l'arrivée, le commutateur inverseur sert, comme

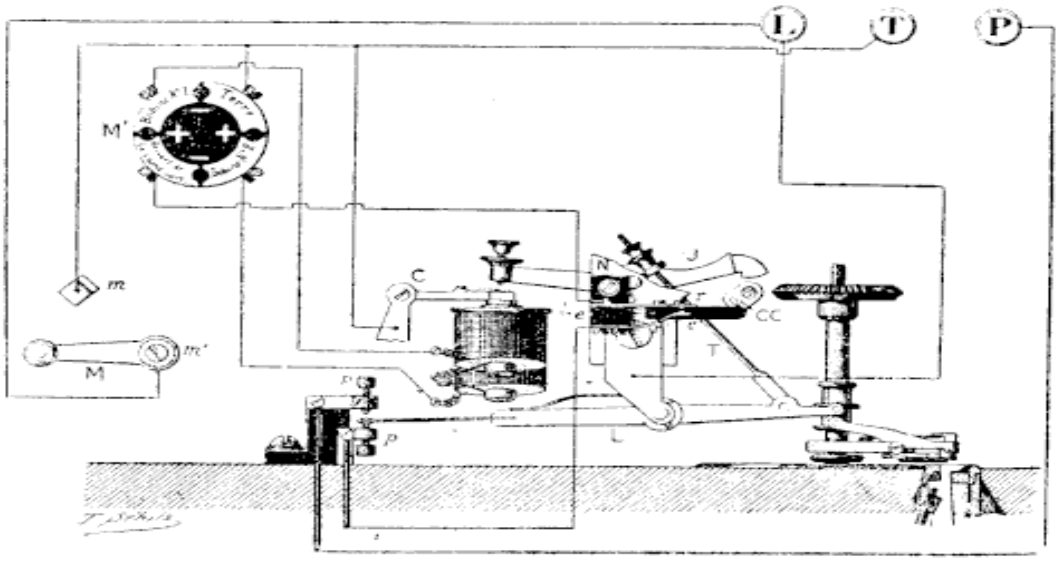


Fig. 201. — Communications électriques des Hughes.

nous l'avons dit (p. 104), à diriger le courant dans les bobines, de manière que le positif y produise le même effet de désaimantation que le négatif : les fiches étant placées, par exemple, sur le diamètre horizontal, un courant positif, venant de la ligne, suivra l'itinéraire ci-après : le levier de transmission étant au repos, le massif est en relation, par la vis de butée, avec le ressort inférieur de la came correctrice (v. p. 102); le courant passe ensuite dans le ressort supérieur, arrive au plot correspondant du commutateur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rond, se rend, par la fiche et l'autre plot, à l'entrée de la bobine n° 1, sort par la bobine n° 2, revient au commutateur et, par la seconde fiche, va se perdre dans la terre.

Interruption et dérivation. — Dès que l'armature est soulevée, elle vient buter contre le levier de détente : la terre, reliée à la première, se trouve mise en communication avec la ligne, qui aboutit au massif : le courant, ayant produit l'effet qu'on attendait de lui, s'écoule alors directement à la terre, sans passer par l'électro-aimant qui, d'ailleurs, un instant après, se trouve mis momentanément hors circuit par la séparation des deux ressorts de la came correctrice, lorsque celle-ci se met en mouvement. Nous savons que cette interruption a pour objet d'empêcher, lors du retour de l'armature, la production d'un courant induit, qui, désaimantant les noyaux, les empêcherait de retenir la dite armature (v. p. 100).

Manette. — Sur le côté gauche de la table, se trouve une manette, M, dont le pivot *m'* communique avec la ligne. Dans la position normale, qui est celle qu'indique e plan, cette manette est isolée, « sur bois »; mais on peut, pour les besoins du réglage en ligne, l'amener au contact d'un plot *m*, disposé à cet effet et relié à la terre : l'appareil se trouve alors complètement hors circuit. Nous indiquerons les cas dans lesquels on fait usage de cette dérivation des courants.

Ressort isolé du rappel au blanc. — Dans les appareils dont la construction n'est pas toute récente, il existe encore un dispositif, qui met la ligne en relation directe avec la terre, pendant qu'on rappelle au blanc les roues des types et de correction. A cet effet, le levier de rappel qui, faisant partie du massif de l'appareil, communique avec la ligne, porte sous sa branche supérieure, L fig. 202), un petit ressort-lame, en acier, *r*, isolé du levier par un morceau d'ébonite et relié à la terre; la partie inférieure du bouton, B, se trouve, à l'état de repos, à une petite distance du ressort, *r*, le bouton étant soulevé constamment

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

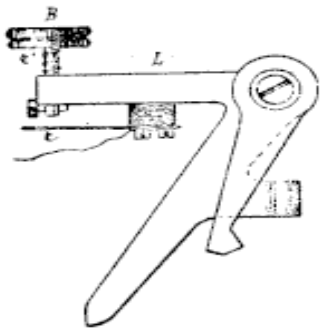


Fig. 202

par un ressort à boudin en laiton, r', enroulé autour de la tige. Mais, dès qu'on appuie pour rappeler au blanc, le bouton B s'enfonce et sa tige vient alors toucher, par son extrémité, le ressort isolé, r. Si, à ce moment, un courant arrive de la ligne, il est dérivé directement à la terre, sans passer par l'électro-aimant : on évite ainsi qu'un déclanchement vienne gêner la manœuvre :

Toutefois, il arrive fréquemment que le ressort à boudin, r', avachi par l'usage, ne maintient plus le bouton assez élevé : les vibrations de l'appareil permettent alors à la tige de venir toucher le ressort isolé, causant ainsi des pertes à la terre, que leur intermittence rend quelquefois plus difficiles à découvrir. C'est pour cette raison que les appareils construits actuellement ne comportent plus ce dispositif, qui est même supprimé aux anciens, dès qu'ils ont l'occasion de retourner aux ateliers. On peut, d'ailleurs, facilement éviter l'inconvénient qui l'avait motivé, soit en mettant la manette à la terre, soit, plus simplement encore, en maintenant l'armature au contact des noyaux, pendant qu'on rappelle au blanc.

Communication des Hughes du Poste Central de Paris. — Les planchers des salles de transmssion étant en fer, ainsi que l'ossature générale du bâtiment, se trouvent en communication avec la terre; le poids moteur, relié à la ligne par la chaîne qui le supporte et s'appuie elle-même sur le massif, pouvait, en arrivant à la fin de sa course ou en frottant contre les cages métalliques qui l'enferment, mettre le fil directement à la terre. Cet inconvénient a nécessité la modification des communications électriques des Hughes du Poste Central.

Le massif a été mis à la terre, ce qui a entraîné la séparation du levier de transmission en deux parties isolées l'une de l'autre par une plaque d'ébonite, i, celle, u, qui vient, lors du soulèvement, se mettre en prise avec la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vis de pile p, porte un petit ressort à boudin, auquel est attachée la communication avec la ligne; ce ressort à boudin, très faible, n'oppose aucune résistance appréciable aux mouvements du levier de transmission, il est seu-

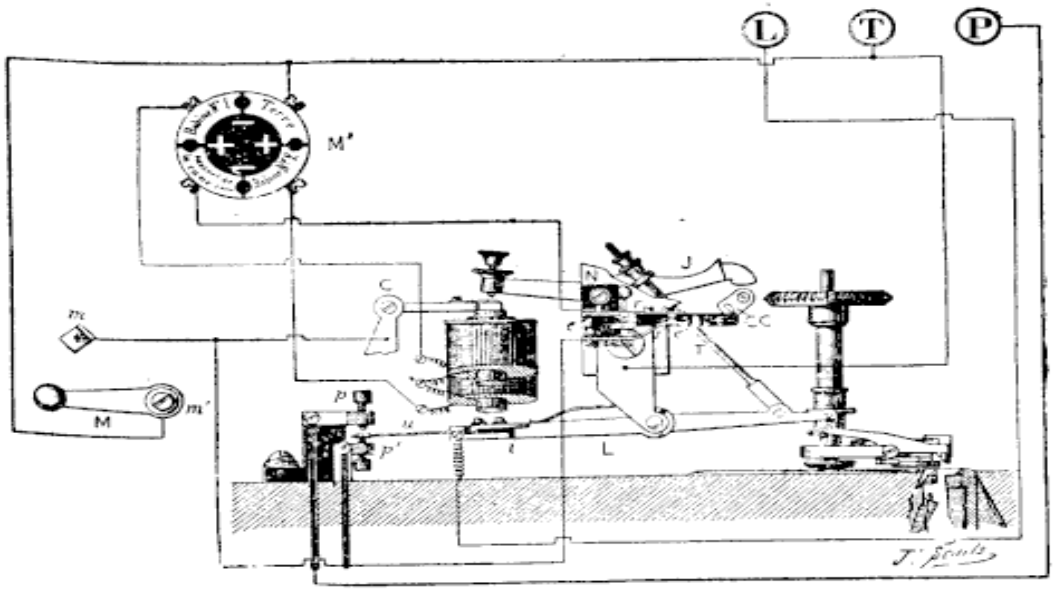


Fig. 203. — Communications au Poste Central de Paris.

lement assez souple pour les suivre sans difficulté. Le support de l'armature, ainsi que le plot de la manette, sont reliés à la vis de repos, p', du levier de transmission : ces deux pièces ne sont donc réunies à la ligne que lorsque le levier est au repos. Le reste des communications est agencé comme dans les autres postes.

Il a paru avantageux de ne pas relier en permanence à la ligne le support de l'armature : en effet, en cas de mauvais réglage du déclanchement automatique (v. p. 117), il pourrait arriver que la vis du levier de détente vînt toucher l'armature avant que le levier de transmission eût abandonné la prise de pile : il en résulterait une mise à la terre des accumulateurs, dont le fil préservateur serait brûlé; avec le dispositif adopté, l'armature se trouvant isolée tant que le levier de transmission n'est pas revenu à la position de repos, cet accident est évité. On objectera que cette précaution a aussi son mauvais côté,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui est de renoncer à la décharge directe du conducteur, après chaque émission transmise, par ce contact de la vis du levier de détente sur l'armature. Nous remarquerons qu'il suffit de régler convenablement le déclanchement automatique pour bénéficier de cette décharge au départ : si la lèvre du chariot quitte la tête du goujon au moment même où le commencement du colimaçon arrive sous le levier de détente, celui-ci, libéré de la traction qu'exerçait précédemment la tige de l'automatique, obéit aussitôt à son ressort et bascule : la vis vient buter contre l'armature en même temps que le levier de transmission revient au repos : la ligne n'est donc isolée que pendant le temps très court que le levier met à parcourir l'intervalle qui sépare ses deux vis-butées.

Notons enfin que, dans sa séance du 23 octobre 1903, le Comité Technique a décidé d'uniformiser les communications des Hughes qui, dans l'avenir, seront tous à levier coupé; ceux qui existent actuellement avec le massif à la ligne seront transformés dès que, pour une cause quelconque, ils retourneront aux ateliers.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVII

RÉGLAGE

Entretien de l'appareil. — Le bon fonctionnement de tout appareil est subordonné à la régularité avec laquelle chaque pièce remplit le rôle qui lui est attribué; or, si le constructeur a donné à chaque organe la forme, les dimensions et la place qui conviennent le mieux, il est hors de doute qu'après un usage plus ou moins prolongé, l'usure des surfaces qui frottent, les déplacements produits sous l'action des chocs répétés, seront susceptibles de modifier les conditions du fonctionnement: on se trouvera alors en présence de « dérangements ». La recherche et la réparation de ceux-ci ne pourront être effectuées que si l'on connaît exactement, non seulement le rôle général, tel que nous l'avons indiqué jusqu'ici, de chacune des pièces qui composent l'appareil, mais encore le réglage, qui les place dans les conditions les plus favorables.

Nous reprendrons donc, un à un et dans l'ordre où nous les avons décrits, tous les organes, en indiquant, pour chacun d'eux, le réglage approprié.

Avant de commencer cette revue générale, et dans le but d'éviter de nombreuses redites, il est bon d'indiquer quelques principes qui s'appliquent à tous les cas sans exception, et qui peuvent s'énoncer ainsi :

1° Toutes les surfaces qui frottent doivent être soigneusement huilées;

2° Toutes les vis doivent être serrées à bloc soit par l'enfoncement jusqu'à refus, soit par la manœuvre d'une contre-vis;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Toutes les communications électriques doivent être bien serrées et les points de contact maintenus dans le plus grand état de propreté.

L'entretien quotidien de l'appareil consistera donc dans le graissage de la partie mécanique; les platines sont, à cet effet, percées de trous verticaux, évasés à leur partie supérieure, dans lesquels on introduit, à l'aide d'un pinceau, l'huile qui descend ensuite jusqu'aux axes. Un trou semblable est pratiqué sur le pontet qui, à l'arrière, soutient l'axe du volant; on lubrifiera, de même, les cames, le colimaçon, la tête du levier de détente, le tambour dans lequel frotte le frein, l'intérieur du manchon de l'axe du chariot, la crapaudine (par l'ouverture demi-circulaire que porte, à l'arrière, la chape fixe), les manchons de la roue correctrice et de la roue des types, des leviers d'impression et de progression, et enfin, les pivots du tampon encreur qu'on oublie généralement, et qui déterminent une résistance appréciable et l'encrassement rapide de la roue des types, par l'arrachement des fils du drap; le remontoir à pédale, le moteur électrique ou autre et le remontoir automatique, dont le godet ne devra jamais être à sec; enfin, les chapes du poids-moteur et du contre-poids seront également l'objet d'un graissage périodique.

Les fils, qui amènent de l'extérieur la ligne, la terre et la pile, seront bien décapés à leur extrémité dénudée et les bornes qui les reçoivent serrées à bloc. On nettoiera, chaque jour, les contacts des ressorts de la came correctrice, à l'aide d'un bout de bande intercalé et serré ensuite, de manière à enlever l'huile qui a pu y être introduite; on opérera de même entre l'armature et la vis du levier de détente, pour assurer la dérivation, lors du soulèvement. De temps en temps, on nettoiera également les surfaces de contact du levier de transmission et de ses vis de butée, ainsi que les fiches du commutateur inverseur.

Démontage. — Environ deux fois par an, on nettoiera complètement, à l'essence de térébenthine, ou, à défaut, avec de l'huile de pétrole, l'ensemble de l'appareil. On pourra

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

démonter complètement celui-ci, pour procéder à ce nettoyage périodique; mais nous conseillons de ne séparer les rouages des platines que lorsque cette opération sera jugée absolument indispensable. Il est presque inévitable, en effet, qu'après le remontage, on constate que l'appareil ralentit considérablement, surtout s'il est un peu usagé : cela tient à ce que les axes et leurs paliers, au lieu de s'user uniformément, se sont striés, à la longue, et que, les saillies des uns ne s'emboîtant plus dans les parties creuses des autres, il en résulte des frottements notables, qui amènent les ralentissements dont nous parlons : on n'a alors d'autre ressource que de laisser, pendant un certain temps, l'appareil tourner à très grande vitesse, jusqu'à ce que les pièces se soient replacées dans la position exacte qu'elles occupaient avant leur séparation.

Le démontage s'effectue de la façon suivante :

1° Faire descendre le poids jusqu'à terre, puis continuer le mouvement en poussant, par exemple, la roue dentée de l'axe de la roue des types, de manière que la chaîne ne soit plus tendue et qu'on puisse séparer la chape de la tige qui supporte le poids; chercher et dévisser la vis-goupille qui réunit les deux bouts de la chaîne motrice, retirer celle-ci, détacher, de même, la chaîne de remontage, le crochet de pédale, la pédale et son ressort antagoniste;

2° Enlever le pont du chariot : indépendamment de la vis qui le fixe à la platine antérieure, le pont porte deux pieds en acier qui s'enfoncent dans la dite platine et assurent le repérage exact de sa position; on imprimera au pont un léger mouvement alternatif pour dégager les pieds; au besoin, on facilitera la sortie en glissant le tourne-vis entre le pont et la platine, mais en ayant soin d'éviter de strier les surfaces et surtout de fausser les pieds. — Enlever ensuite le chariot et la crapaudine; maintenir cette dernière avec le bout du tourne-vis pour éviter qu'elle puisse sauter au dehors, sous l'action de son ressort;

3° Détacher la pièce isolante des ressorts de la came correctrice et l'équerre des contacts du levier de transmission;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4° Retirer le frein; pour cela, desserrer la vis de pression, qui fixe le manchon du frein sur l'axe du volant, déplacer d'avant en arrière, jusqu'à ce que le bout de l'axe soit dégagé du manchon; revenir en sens inverse, pour sortir l'œilleton de la manivelle de l'extrémité de la tige vibrante, qu'on écarte légèrement à cet effet;

5° Dévisser les trois vis qui, sous la table, retiennent les piliers du massif : celui-ci peut alors être séparé de la table et placé dans la position qui convient le mieux pour le démontage de chacune des autres pièces. Si l'on opère sur un appareil agencé comme ceux du Poste Central de Paris, avoir soin, avant d'enlever le massif, de détacher le petit ressort à boudin, qui amène au levier de transmission la communication de ligne;

Enlever ensuite :

6° Le contre-écrou et l'écrou de la tige du déclanchement automatique pour dégager celle-ci du levier de détente;

7° L'équerre qui soutient le levier de transmission et le levier lui-même;

8° Le tampon encreur : desserrer le bouton qui fixe l'axe à la platine, soulever le tampon, ainsi que l'extrémité du ressort à boudin, qui s'appuie sur le manchon du levier de rappel au blanc et tirer à soi;

9° Le pont antérieur de l'arbre des cames;

10° Le levier de rappel au blanc : dévisser les deux vis antérieure et postérieure, soulever la branche horizontale, pour ne pas rencontrer, par les autres branches, les roues des types et de correction; tirer d'arrière en avant;

11° Les leviers d'impression et de progression : retirer la vis et la rondelle de bout d'axe, faire fléchir, avec le bout du tourne-vis, le ressort en U, pour qu'il abandonne le doigt du levier de progression et permette à celui-ci de tomber; faire tourner la roue des types, jusqu'à ce qu'un des deux blancs se trouve vis-à-vis de la fourchette en (ivoire) et lui laisse passage, lorsqu'on tirera à soi le levier d'impression. Dans le cas où la fourchette, trop haute,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne pourrait passer sous l'évidement, retirer le barillet, pour permettre à la fourchette de s'abaisser : le levier d'impression, puis celui de progression pourront alors être enlevés ;

12° Les roues des types et de correction : retirer la vis et la rondelle de bout d'axe, embrayer l'arbre des cames et le faire tourner jusqu'au point où aucune came ne gêne la sortie de la roue correctrice ;

13° La roue de frottement : dévisser la vis de pression du manchon, retirer en bloc la roue et son assiette, en faisant, au besoin, levier avec le tourne-vis, entre la platine et le manchon : on découvrira sur l'axe un coup de pointeau, qui repère la place du manchon et dans lequel, au remontage, on devra faire arriver le bout de la vis de pression ;

14° L'arbre des cames : dévisser les deux boutons moletés pour enlever le coussinet ; avoir soin de repérer la face antérieure de ce dernier afin de le remonter dans les mêmes conditions ; faire tourner jusqu'à ce que les deux branches de la plaque de détente puissent passer sous la tête du levier ;

15° La platine antérieure : dévisser les trois vis qui la fixent aux barres transversales, tirer à soi : on dégage l'extrémité antérieure de tous les axes ; on peut alors retirer les trois premiers et celui du levier de détente ; seuls, l'axe du volant et celui de la roue des types restent encore sur la platine postérieure, la roue dentée de ce dernier étant empêchée de se déplacer par l'équerre qui porte le coussinet de l'axe du volant. Il est à remarquer que, dans les appareils de construction assez récente, le levier de détente est monté sur deux coussinets, fixés sur la paroi intérieure des platines de l'appareil, ce qui permet de l'enlever sans démonter celles-ci ;

16° L'axe du volant : faire faire demi-tour au massif, démonter le pontet, puis le pont du coussinet antérieur. On pourra alors retirer également l'axe de la roue des types, rien ne s'opposant plus à son passage ;

17° Le clavier et la boîte à goujons : s'assurer, tout

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'abord, que les cinq vis à métaux, qui servent à équilibrer la boîte à goujons par rapport au chariot, sont bien calées contre les butées métalliques de la table : desserrer ensuite les écrous à oreilles, en soutenant le massif et en commençant par les quatre d'avant : le cinquième, resté en place, continue à maintenir le système, ce qui facilite grandement l'opération ; retirer ensuite ce dernier et laisser descendre la partie postérieure du massif, en poussant un peu devant soi, afin de dégager la partie antérieure des touches. Si l'on sépare la boîte à goujons du massif, avoir soin, au remontage, de la placer de telle sorte que les leviers des touches ne frottent pas dans les rainures inférieures de la boîte, ce qui pourrait gêner le retour au repos des goujons ;

18° Le remontoir à pédale : il suffit de dévisser les six vis à métaux qui le fixent sous la table. La pièce étant fort lourde et la position de l'opérateur très incommode, il n'est pas superflu, pour éviter tout accident, de se faire aider dans cette opération.

Pour le remontage, procéder dans l'ordre inverse, en appliquant à chaque pièce le réglage que nous indiquons plus loin.

MANIPULATEUR

1° Clavier et boîte à goujons. — Les touches et leurs leviers doivent être très libres, afin d'opposer le minimum de résistance au relèvement, sous l'action des ressorts des goujons ; ceux-ci doivent être assez énergiques pour ramener franchement tout le système au repos ; si ce retour se faisait paresseusement, on s'assurerait que le levier intéressé ne frotte pas contre les parois de la fente qui, pratiquée à la base de la boîte à goujons, le guide dans son mouvement ; on huilerait le goujon, aux points où il frotte contre les fenêtres supérieure et inférieure de la boîte et, le cas échéant, on changerait le ressort si, en le raccourcissant, on n'obtenait pas le résultat convenable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le placement des ressorts de rappel des goujons doit être fait très soigneusement : il importe que la traction exercée par un ressort sur un goujon n'ait aucune tendance à faire tourner celui-ci, c'est-à-dire le tire bien normalement; s'il en était autrement, le goujon coincerait sur les parois de ses fenêtres et manquerait de la liberté qui lui est nécessaire. Lorsqu'on refera un œilleton de ressort, après rupture ou pour raccourcir le ressort, on aura soin, afin d'éviter le défaut que nous venons de signaler, de tourner le dit œilleton dans un plan perpendiculaire à celui du bout opposé.

Le remontage de la boîte à goujons offre certaines difficultés : pour arriver à introduire toutes les têtes dans les 28 fenêtres du couvercle, sans décapiter aucun goujon, une certaine pratique est nécessaire, à cause de la traction vers le centre exercée par les ressorts; aussi conseillons-nous de ne procéder au démontage complet que dans le cas de nécessité absolue. Ce cas échéant, le remontage se fera de la façon suivante : après avoir repéré le couvercle par rapport aux trous de vis de la boîte, on poussera par le bas un goujon quelconque, de manière que sa tête vienne émerger au-dessus du couvercle, où on la maintiendra; on engagera, de la sorte, dans leurs fenêtres respectives, quatre goujons placés aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires, en ayant soin d'attacher ensemble, à l'aide d'un fil à coudre, les têtes en dehors du couvercle, pour empêcher que les ressorts ramènent les goujons en arrière; cela fait, on introduira et on attachera, de même, successivement, tous les autres. On placera enfin le couvercle avec précaution, un mouvement brusque pouvant amener la rupture d'un ou de plusieurs goujons, trempés très sec; on ne retirera les attaches qu'après avoir revissé le couvercle.

On pourrait, à défaut de fil, employer de petits morceaux de bois, des bouts d'allumettes, par exemple, pour caler les têtes des goujons, au fur et à mesure de leur introduction dans les fenêtres; mais ce moyen demande encore

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus de précautions que le précédent, le moindre faux mouvement étant susceptible de faire sauter les cales : les goujons, dans ce cas, rentrent aussitôt dans la boîte, et l'opération est à recommencer.

2° Equilibre de la boîte à goujons. — Le couvercle de la boîte à goujons doit être dans un plan parallèle à celui dans lequel se meut la lèvre du chariot, autrement dit, tous les goujons, au repos, doivent se trouver à une égale distance de la lèvre, de telle sorte que celle-ci les rencontre tous de la même façon, lorsqu'ils sont soulevés. Il suffit, pour vérifier cette position, d'opérer sur les quatre goujons : blanc des lettres, G, N, U, qui se trouvent aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires l'un à l'autre et parallèles aux côtés de la table : ces quatre goujons forment comme les quatre points cardinaux de la boîte. On place un bout de bande de papier entre le levier de transmission et la vis de prise de pile, puis, faisant tourner l'appareil à la main, on met le chariot en prise avec le goujon blanc des lettres, préalablement soulevé. Lorsque l'ascension de la lèvre mobile est complète, on tire sur la bande, pour juger de l'appui du levier de transmission sur la vis de pile : on pourra, au besoin, desserrer un peu celle-ci de manière à rendre la pression minima : on appréciera mieux les différences qu'on pourrait avoir à constater, lorsqu'on opérera sur les autres goujons. On répète ensuite la même vérification pour les trois autres : la bande doit être serrée de la même façon dans tous les cas. S'il n'en est pas ainsi, si, par exemple, la pression est moins forte sur le goujon N que sur le blanc des lettres, il faut en conclure que la boîte à goujons penche du côté droit : pour la redresser, on desserrera les vis-butées V^3, V^4 et V^5, afin de pouvoir serrer d'autant les écrous à oreilles E^3, E^4, E^5 (fig. 204). On recommencera la vérification et on opérera ainsi jus-

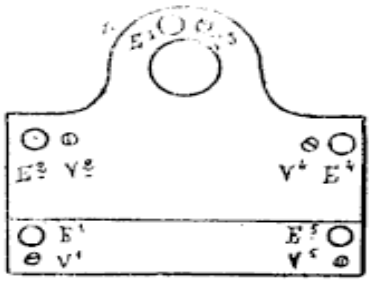


Fig. 204.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'à ce qu'aux quatre points cardinaux la bande soit serrée avec la même pression.

3° Chariot. — La roue d'angle de l'axe du chariot doit engrener franchement avec celle de l'axe de la roue des types : c'est le ressort à boudin, placé sous la crapaudine, qui, en soulevant celle-ci, assure l'emboîtement convenable des dents d'engrenage. Lorsque, avec le doigt, on appuie sur la roue d'angle, de manière à faire fléchir le ressort, on doit trouver un peu de jeu, mais, dès que la pression cesse, on doit voir l'axe remonter et la roue buter contre celle qui l'entraine. Si ce mouvement ne s'effectue pas, ce dont on s'assurera en essayant de soulever la roue d'angle, on démontera l'axe du chariot, afin de pouvoir dégager la crapaudine et son ressort, puis on étirera légèrement celui-ci, pour augmenter sa force.

Il sera bon, toutefois, de ne pas exagérer cette extension, qui aurait pour effet d'appliquer avec trop d'énergie les deux roues d'angle l'une contre l'autre : il y aurait là une dépense inutile de frottement, susceptible de concourir au ralentissement du mouvement de l'appareil.

L'axe du chariot ne doit pas avoir de jeu de bas en haut, mais il faut qu'il en existe un, léger, de haut en bas, afin d'éviter un coincement, de nature également à faire ralentir l'appareil : c'est la hauteur à laquelle on placera la boîte à goujons qui réglera ce dernier jeu. Si, par exemple, il est nul, on desserrera les cinq écrous à oreilles du massif du clavier (fig. 204) et on les bloquera ensuite, en enfonçant jusqu'à refus les cinq vis de butée.

4° Chape mobile. — La chape mobile doit être très libre sur ses vis-pivots, mais avec un jeu latéral minime, afin que la rencontre de la lèvre et du goujon se fasse toujours dans les mêmes conditions, ce qui pourrait ne pas avoir lieu, si la chape était susceptible de se déplacer dans le sens horizontal. A l'état de repos, la partie inférieure de la lèvre doit se trouver sensiblement vis-à-vis du milieu de l'épaisseur du patin; cette position dépend non seulement du petit ressort qui tend à soulever la chape

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mobile et qu'on bandera au minimum, mais surtout de l'énergie du ressort qui commande le levier de transmission, et aussi de la position de la vis sur laquelle le dit levier s'appuie au repos. Nous reviendrons plus loin sur ce réglage.

Le ressort en acier, qui pousse vers l'extérieur la partie prenante de la plaque de sûreté, doit permettre un léger recul de celle-ci, lorsqu'on provoque ce mouvement avec le doigt; mais il doit être assez énergique pour que, lorsqu'un goujon, saisi par la plaque, arrive au commencement de la partie concentrique, celle-ci se trouve complètement rejetée : si l'on tire sur l'extrémité de la partie prenante, en cherchant à l'éloigner du centre, on ne doit trouver aucun jeu. C'est à cette condition que la tête du goujon sera bien emprisonnée entre la plaque de sûreté et la fenêtre: il ne pourra alors se dérober à la rencontre de la lèvre.

5° Levier de transmission. — Nous venons de dire que la position du levier de transmission au repos règle celle de la lèvre mobile; il faut, en outre, que son appui sur la vis de butée soit suffisant pour assurer une communication convenable aux courants, à l'arrivée. Voici comment on concilie ces deux nécessités : après avoir descendu la vis-butée inférieure, jusqu'à ce que la lèvre se trouve légèrement au-dessous du milieu de l'épaisseur du patin, on tend ou on détend le ressort du levier, jusqu'à ce qu'en intercalant un bout de bande entre ce dernier et la vis-butée, on sente, en tirant sur la bande, une faible pression; on remonte ensuite la vis-butée jusqu'à ce que la lèvre arrive à la position convenable. Si, à ce moment, la pression du levier sur la vis était trop grande, c'est que le ressort antagoniste serait trop tendu : on l'affaiblirait et on redescendrait légèrement la vis.

La butée supérieure du levier de transmission se règle ensuite, de la façon suivante : on desserre la vis de pile, puis on met la lèvre du chariot en prise avec un goujon; on enfonce ensuite la vis supérieure, jusqu'à ce que l'extrémité du levier de transmission fléchisse d'une petite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quantité. On pourrait aussi vérifier ce réglage en opérant comme pour l'équilibre de la boîte à goujons et jugeant du degré de pression, à l'aide d'une bande intercalée entre la vis et le levier.

En un mot, le levier de transmission doit rencontrer ses vis-butées un peu avant d'arriver au bout de sa course et fléchir légèrement pour achever celle-ci; mais, toute exagération dans la réalisation de cette dernière condition doit être soigneusement évitée : le travail inutile qu'on imposerait au chariot, lors de la transmission, entraînerait une usure rapide de la lèvre et des têtes de goujons et pourrait, en outre, faire ralentir le mouvement de l'appareil.

6° Déclanchement automatique. — Le déclanchement automatique se règle par la manœuvre de la vis qui termine, à sa partie supérieure, la tige articulée sur le levier de transmission; on l'immobilise ensuite à l'aide de sa contre-vis. On prend pour points de repères les quatre goujons : blanc des lettres, G, N, U, par exemple, on desserre la vis de manière que le déclanchement ne se fasse plus, puis on serre lentement et on s'arrête juste au point où le fonctionnement est normal : à ce moment, la partie inférieure de la vis de réglage doit avoir un jeu assez large dans la fraisure du trou qui la guide.

Il y a grand intérêt à ce que la vis du déclanchement automatique soit aussi peu enfoncée que possible, afin que la détente ne se fasse qu'au moment où la lèvre du chariot est complètement montée sur la tête du goujon. Dans ces conditions, le colimaçon arrive sous la tête du levier de détente en même temps que la lèvre commence à descendre, par sa partie terminale arrondie, le long de la tête du goujon : les choses se passent ainsi normalement. Mais, si la vis de l'automatique est trop serrée, le déclanchement a lieu au début du soulèvement de la lèvre et, l'embrayage se faisant plus tôt, le colimaçon arrive à soulever la tête du levier de détente avant que la lèvre, qui repose encore sur la tête du goujon, puisse permettre ce mouvement : il en résulte que la tige se trouve tirée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par les deux bouts à la fois, ce qui ne va pas sans une dépense de force considérable et occasionne des ralentissements. C'est pourquoi, dans le serrage de la vis de l'automatique, il importe de ne pas dépasser le point à partir duquel le déclanchement se fait dans de bonnes conditions.

ÉLECTRO-AIMANT

1° **Position de l'armature au repos**. — L'armature est montée sur un support en laiton, fixé lui-même sur la table à l'aide de deux vis à bois; les trous dans lesquels passent ces vis sont allongés, ce qui permet de placer l'armature dans les meilleures conditions, par rapport au levier de détente. Cette position une fois définie, on immobilise le support. Le réglage de la position relative de l'armature et des noyaux, se fait en déplaçant l'électro-aimant, grâce à la façon spéciale dont il est monté : un simple serrage du faisceau magnétique sur une équerre placée sous la table (v. p. 95).

A) Le petit ressort qui surmonte l'armature doit pouvoir frapper normalement sur la vis du levier de détente. On fera embrayer l'axe des cames et on amènera le colimaçon sous la tête du levier : la vis que porte l'autre extrémité devra, suivant son enfoncement, faire fléchir plus ou moins le ressort (nous verrons plus loin ce réglage), mais aussi le support sera placé de telle sorte que la vis s'appuie sur la partie médiane du ressort, près de son extrémiié recourbée; cela obtenu, on immobilisera le support et on s'abstiendra, pour les autres réglages, de le déplacer : on agira sur l'électro-aimant. Toutefois, on pourrait, sans inconvénient, modifier légèrement la position du support de gauche à droite ou inversement, si cela était reconnu indispensable : la situation à conserver étant surtout celle qu'on changerait en déplaçant le support d'arrière en avant, et *vice versa*.

B) L'armature doit s'appuyer d'une égale longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur les deux extrémités des pièces polaires. Nous avons dit (p. 97) que les dimensions des plaques polaires et de l'armature ont été calculées de manière à faire coïncider les « pôles vrais » des unes avec ceux de l'autre. Cette condition ne sera évidemment réalisée que si, comme dans la figure 205, l'armature s'appuie également sur les deux plaques. Au contraire, si l'armature se trouve trop à droite ou trop à gauche, cette coïncidence n'est pas réalisée (fig. 206) : dans ce dernier cas, on desserre très légèrement les vis qui, sous la table, fixent le faisceau magnétique contre l'équerre et on fait glisser l'électro-aimant jusqu'à ce que la position désirée soit obtenue, comme sur la figure 205. On ne doit pas, dans ce cas, agir sur le support, car on changerait la position de l'armature par rapport au levier de détente.

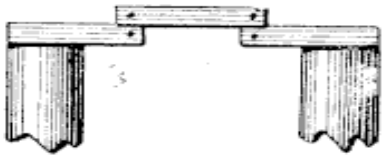


Fig. 205.

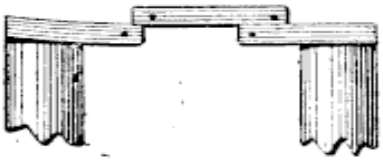


Fig. 206.

C) L'armature doit s'appuyer bien à plat sur les pièces polaires. Cette condition n'est réalisée que si l'électro-aimant se trouve à la hauteur convenable; on s'en assure de la manière suivante : on intercale, entre l'armature et les noyaux, une bande de papier assez longue, on retire le fer doux et on desserre les vis des ressorts, pour avoir le maximum d'adhérence; puis, agissant à l'aide des deux mains, on cherche à déplacer la bande parallèlement aux pièces polaires : si l'armature n'appuie pas bien par tous les points, il arrivera un moment où la bande ne sera plus retenue et pourra être retirée sans effort. Si cela se produit à droite, l'électro-aimant est trop haut (fig. 207); dans le cas contraire, il est trop bas (fig. 208). Pour descendre l'électro-aimant, on desserrera d'une petite quantité les vis qui maintiennent le faisceau sous la table, puis on placera sur la partie courbe du dit faisceau (à la zone neutre) un morceau

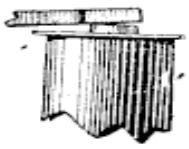


Fig. 207.

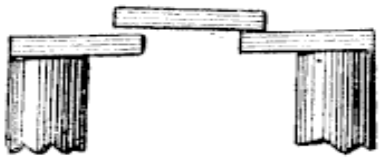
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires


Fig. 208.

de bois qu'on maintiendra d'une main et sur lequel, de l'autre, on frappera par petits coups, en vérifiant de temps en temps l'effet produit. On arrivera ainsi à donner à l'électro-aimant la hauteur qui convient. S'il s'agissait d'une très petite quantité, on pourrait aussi caler le support de l'armature en plaçant des feuilles de papier ou de bristol entre son pied et la table. Lorsqu'on se trouve dans le cas de la figure 208, on place le morceau de bois sous la zone neutre et on frappe de bas en haut, avec la paume de la main ou un petit maillet, pour faire remonter l'électro aimant.

D) L'armature doit s'appliquer également sur les deux pièces polaires, par ses extrémités. On s'assure que cette condition est remplie en plaçant, comme précédemment, un morceau de bande et, l'armature une fois abaissée, en essayant de déplacer la bande à droite et à gauche. On opère ainsi sur les deux bouts de la bande. Si les deux extrémités de l'armature n'appuient pas également sur les deux pièces polaires, la bande pivotera autour de celle qui est la plus fortement maintenue et l'on se trouvera dans l'un des deux cas suivants : la bande, pincée du côté avant, est libre du côté arrière; le noyau d'arrière se trouve placé trop bas (fig. 209); ou bien elle est maintenue en arrière seulement: le noyau d'avant est moins élevé (fig. 210). Dans le premier cas, et si la différence de niveau est minime, il suffira de frapper avec la paume de la main sur la partie latérale inférieure du faisceau d'aimants; dans le second, on tirera à soi.


Fig. 209.


Fig. 210.

On pourrait aussi, en posant l'armature, détachée de son support, à plat sur la table, s'assurer qu'elle est bien dans le même plan que son axe et, le cas échéant, la déformer à la pince, en tordant dans le sens convenable pour l'y amener.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° **Réglage des ressorts de l'armature.** — L'armature et les noyaux étant placés comme il vient d'être dit, on pourra commencer le réglage des ressorts. Nous savons que ceux-ci, au nombre de deux, peuvent être tendus plus ou moins par l'enfoncement ou le retrait des vis qui les commandent. L'une de ces vis, celle d'arrière, ne peut être manœuvrée qu'à l'aide du tourne-vis; l'autre, au contraire, munie d'un bouton moleté, est susceptible d'être tournée à la main. On réglera donc d'abord la première qu'on immobilisera ensuite, en serrant sa contre-vis; on réservera la seconde pour le réglage quotidien.

Le ressort d'arrière doit être assez tendu pour pouvoir, à lui seul, faire basculer le levier de détente. Voici comment on opère pour s'en assurer : on détend tout à fait le ressort d'avant, puis, l'appareil étant arrêté et l'arbre des cames désembrayé, on appuie le pouce de la main gauche sur la tête de la vis du levier de détente; puis, avec l'index de la même main, on arrache l'armature à l'attraction des noyaux et on l'amène contre la vis du levier : ce dernier ne peut être soulevé, tant que le pouce presse sur la tête de la vis; on retire alors l'index, puis, brusquement, le pouce : le levier de détente doit être franchement entraîné et on doit entendre le cliquet tomber sur la roue à rochet. Si ce résultat n'est pas obtenu, on fait faire un tour entier à l'arbre des cames, on le désembraye, on ramène, avec le doigt, le taquet contre l'épaulement, puis on tend le ressort de l'armature et on recommence l'expérience. Si, au contraire, le soulèvement avait lieu la première fois, dans de bonnes conditions, on détendrait le ressort pour s'assurer que la tension n'est pas exagérée, et on essayerait de nouveau. Pour éviter ce retour en arrière, on pourrait d'ailleurs détendre le ressort avant de commencer les essais : quand on aurait atteint le point cherché, et dans le but de compenser par avance les affaiblissements possibles, on tournerait la vis d'un tour ou deux encore, puis on l'immobiliserait définitivement.

Dans le cas où le ressort serait par trop faible et où

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'enfoncement complet ne suffirait pas à lui donner l'énergie nécessaire, on retirerait l'armature de son support et on déformerait le ressort, en le faisant fléchir vers la gauche. Il serait bon, toutefois, avant de procéder à cette déformation, de s'assurer que le ressort du levier de détente, dont l'action est antagoniste de celle de l'armature, n'est pas, lui-même, exagérément tendu. Nous indiquerons plus loin les conditions de réglage de ce dernier.

La vérification ci-dessus peut se faire également pendant que l'appareil est en marche. On se guide alors sur la rapidité avec laquelle se fait l'embrayage, dès que l'enlèvement brusque du pouce libère le levier de détente.

Le ressort d'arrière étant réglé et sa vis bloquée, on enfonce celui d'avant, à peu près de la moitié de la longueur de sa tige, de manière à réserver une marge dans les deux sens pour le réglage qui va suivre.

3° **Pièces polaires**. — Les pièces polaires doivent être sur le prolongement l'une de l'autre et dans le même plan. La plaque de laiton, qui les soutient, empêche leur déformation sous les chocs répétés de l'armature revenant au repos; ce ne serait donc que par suite d'un vice de construction qu'elles pourraient se trouver dans des plans différents.

Elles doivent, ainsi que la face inférieure de l'armature, être maintenues constamment propres : on les nettoiera en déplaçant, entre les plaques et l'armature, un morceau de papier bande, qu'on fera glisser d'avant en arrière, et inversement. Il importe, en effet, de débarrasser les surfaces d'attraction de toutes les poussières et autres corps étrangers, qui s'opposeraient au bon contact.

On place ensuite, sur les pièces polaires, un bout de bande qu'on colle, par ses extrémités, sur les têtes de vis qui fixent les plaques; ce papier, qui a pour but d'empêcher le contact direct de l'armature, doit être absolument propre et sec, bien tendu, de manière à ne présenter aucun pli susceptible d'augmenter l'épaisseur en un point et, par suite, d'empêcher le contact convenable de tous les autres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce papier doit être remplacé dès qu'il commence à se maculer : les poussières, retenues par l'huile qui peut être projetée ou par l'humidité, nuisent à la régularité du soulèvement de l'armature. Le papier bande peut, suivant l'intensité de l'aimantation, être remplacé par une feuille plus épaisse ou plus mince, ainsi que nous l'indiquerons plus loin.

4° **Electro-aimant.** — Nous avons démontré (p. 92) que plus le récepteur placé au bout d'une ligne est sensible, c'est-à-dire fonctionne pendant la période d'accroissement rapide de l'intensité, moins les variations inévitables dans la propagation du courant apportent de perturbations, en ce qui concerne le moment du fonctionnement. Ces écarts ne seront jamais nuls, mais ils se trouveront réduits au minimum, lorsque la sensibilité du récepteur sera maxima.

Les différentes vérifications, que nous avons indiquées plus haut, ont pour objet de permettre de donner à l'électro-aimant qui nous occupe cette qualité essentielle. Voici maintenant comment on l'obtiendra :

L'appareil étant arrêté, on fera glisser le fer doux le long de l'aimant, en le poussant lentement et jusqu'à ce que l'armature se soulève : le déplacement de cette dernière indique qu'on a dépassé le point au delà duquel l'aimantation est inférieure à la tension des ressorts : on reviendra alors en arrière, par toutes petites quantités, en ramenant, à chaque bond, l'armature au contact des noyaux. Dès qu'elle y restera, on cessera de retirer le fer doux et, si l'on a opéré avec la lenteur désirable, on se trouvera dans les conditions que nous avons indiquées théoriquement (p. 93) : l'action de l'aimant est prépondérante et l'armature reste au contact, malgré la tension des ressorts; mais cette supériorité est tellement minime, qu'il suffira, par l'envoi d'un courant dans les bobines, de l'affaiblir tant soit peu pour que les proportions se trouvent renversées et que l'armature obéisse exclusivement à l'action des ressorts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il pourrait arriver, notamment avec un appareil neuf, que, le fer doux complètement enfoncé, l'armature ne se soulevât pas : cela indiquerait une trop grande énergie de l'aimant permanent. On aura la ressource de tendre le ressort d'avant, dont la vis n'a été enfoncée que de la moitié de sa longueur (p. 286). Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que l'armature est rappelée mécaniquement, après chaque soulèvement, et que, par suite, une tension exagérée des ressorts impose à l'appareil un travail inutile, susceptible, le cas échéant, de le faire ralentir. On pourra éviter cet excès de force en remplaçant, par exemple, le papier bande qui recouvre les pièces polaires par un autre papier plus épais; enfin, si l'aimant était par trop énergique, on pourrait intercaler un bout de carton entre les équerres E (fig. 211) et les pôles P du faisceau magnétique. Cette opération exige le démontage de l'électro-aimant, qu'on doit séparer de l'équerre à l'aide de laquelle il est fixé sous la table : on a soin, au préalable, de détacher de leurs bornes les fils d'entrée et de sortie des bobines; on desserrel es vis V et V', pour pouvoir glisser le carton C, puis on bloque de nouveau les vis, on replace l'aimant sur l'équerre en laiton, on rattache les fils en prenant soin de ne pas les intervertir, et on procède au réglage de la hauteur et de l'équilibre de l'électro-aimant, comme il a été dit précédemment. On pourrait également affaiblir un aimant trop énergique en remplaçant l'une des plaques de laiton, qui le maintiennent contre l'équerre, par une barre de fer doux : on dériverait ainsi une certaine quantité de lignes de force en dehors des noyaux, comme on le fait, d'ailleurs, en enfonçant le fer doux : ce moyen nécessiterait seulement le percement d'un trou dans la barre de fer doux, pour laisser passer la vis de fixation.

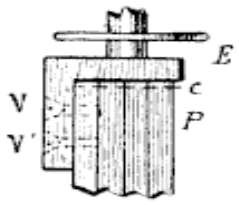


Fig. 211

Il est également possible qu'après un long usage, l'aimant se trouve affaibli au point de nécessiter le retrait complet du fer doux et l'affaiblissement trop grand des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressorts. On peut obvier à cet inconvénient en mettant, sur les plaques polaires, au lieu d'une bande, une feuille de papier à cigarette, par exemple; si ce moyen était encore insuffisant, il faudrait réaimanter le faisceau. A défaut d'autres procédés, ou pour éviter le démontage de l'électro-aimant, on pourra effectuer cette régénération de la façon suivante : on placera le commutateur d'entrée de poste sur sonnerie, puis on réunira, par un fil conducteur, les bornes P et L, après avoir eu soin de placer les fiches du commutateur inverseur dans la position *opposée* à celle qui conviendrait, normalement, à la pile dont on dispose, c'est-à-dire sur négatif si celle-ci est positive, et réciproquement. Le courant, passant par le levier de transmission nécessairement au repos, parcourra l'électro-aimant en développant des pôles de même nom que ceux qui y sont déjà, ceux-ci seront donc renforcés; après une minute, environ on interrompra le courant pour juger, par l'introduction de fer doux ou la tension des ressorts, de l'effet produit, et on recommencera si celui-ci est trouvé insuffisant. On pourra avantageusement laisser l'armature soulevée, pendant tout le temps de l'opération, mais on aura soin de l'isoler, à l'aide d'une feuille de papier, du levier de détente, afin d'éviter que la dérivation fasse passer le courant directement à la terre, ce qui, en outre, aurait pour effet immédiat de brûler le fil préservateur intercalé entre les accumulateurs et l'appareil.

LEVIER DE DÉTENTE

1° **Position de l'axe.** — L'axe du levier de détente doit être bien libre, mais avec le minimum de jeu latéral : il importe, en effet, que la tête du levier se trouve toujours à une petite distance de la plaque de détente; mais si, par suite d'usure, ces pièces pouvaient se trouver en contact autrement que par l'appui du taquet contre l'épaulement, la chute du cliquet et l'embrayage seraient retardés : on aurait de fréquents déraillements sur la lettre suivante,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les anciens appareils, l'axe du levier de détente est monté sur les platines elles-mêmes, ce qui nécessite leur démontage lorsqu'on veut retirer l'axe; les nouveaux n'offrent pas cet inconvénient, grâce au montage du dit axe sur deux coussinets, portés eux-mêmes sur les parois intérieures des platines : on peut ainsi remédier plus facilement au défaut dont nous parlons : on intercale, entre un bout de l'axe et le coussinet, une petite rondelle métallique, qui diminue le jeu sans gêner en rien le mouvement.

2° **Vis de rappel**. — La vis de rappel doit ramener l'armature au contact des noyaux, exactement et sans écrasement; son réglage est, par suite, extrêmement important au point de vue de la sensibillté possible de l'électro-aimant comme à celui du mouvement général de l'appareil.

Si, en effet, l'armature, au lieu d'être appliquée exactement sur les noyaux, n'est ramenée qu'à une petite distance, l'aimantation doit être assez forte pour suppléer à l'insuffisance de l'action mécanique et faire parcourir à l'armature le chemin qui la sépare encore des noyaux, cela ne peut être obtenu qu'en retirant du fer doux ou en détendant les ressorts, c'est-à-dire en désensibilisant l'électro-aimant. En outre, même dans le cas où le rappel aurait lieu jusqu'aux noyaux, le temps pendant lequel l'armature y est maintenue dépend évidemment de la longueur de la vis, qui peut, sans inconvénient, faire fléchir légèrement le petit ressort sur lequel elle s'appuie à ce moment : plus le temps sera long, plus une aimantation faible sera capable de garder l'armature au contact. Si ce temps est trop court ou si l'armature est laissée trop loin des noyaux, elle se relèvera aussitôt et l'appareil déclanchera continuellement, jusqu'à ce qu'on remédie au défaut.

Si, au contraire, la vis est enfoncée de façon à écraser complètement le ressort qui surmonte l'armature, le colimaçon éprouvera, pour passer sous la tête du levier de détente, une résistance qui, vu la grande vitesse dont est animé l'arbre des cames, prendra une valeur d'autant plus appréciable : il en résultera un ralentissement, si cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

valeur dépasse celle que peut compenser le régulateur, et le synchronisme sera rendu impossible.

Pour éviter ces deux défauts contraires, on amènera, à la main, le colimaçon sous le levier de détente et, lorsque le premier présentera au second sa partie la plus excentrée, on arrêtera complètement l'appareil; puis, après avoir desserré le contre-écrou, on enfoncera la vis de rappel jusqu'à ce qu'elle touche et fasse fléchir légèrement le ressort que porte l'armature. Pour se rendre compte du degré de flexion, on posera un doigt de la main droite sur la tête de la vis, pour l'empêcher de se déplacer; ensuite, avec l'autre main, on cherchera à imprimer à l'armature un mouvement de va-et-vient : on doit trouver un jeu résultant seulement du complément de flexion du petit ressort. Dans ces conditions, l'armature sera rappelée jusqu'au contact, sans dépense inutile de force; on serrera le contre-écrou pour bloquer la vis.

Ce réglage terminé, on doit trouver un intervalle entre le bout de la vis de rappel et le ressort de l'armature, lorsque le levier est ramené à sa position de repos : s'il y avait contact direct, la dérivation serait établie en permanence et aucun courant ne pourrait traverser l'électro-aimant. Ce défaut proviendrait peut-être de ce que l'électro-aimant se trouve placé trop haut, mais les vérifications dont cet organe a été l'objet auraient permis déjà de le relever (v. p. 284). Ce cas étant donc écarté, l'usure seule du colimaçon et de la tête du levier de détente peut amener le contact anormal qui nous occupe : il reste comme ressource, si l'on ne peut changer le levier, de river sous la tête un talon, qui compense l'usure des deux pièces et redonne, après un nouveau réglage, le jeu indispensable, au repos, entre la vis de rappel et le petit ressort de l'armature. On pourra encore opérer de la façon suivante : chauffer la tête du levier de détente pour la détremper, puis la marteler, en agissant sur les faces verticales : la tête s'amincira et s'allongera; lorsqu'on lui aura fait regagner tout au moins une fraction suffisante de son usure, la retremper et repla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cer le levier. Cette opération exige, toutefois, une certaine habileté et il sera prudent de ne l'entreprendre qu'à bon escient.

3° **Ressort antagoniste du levier de détente.** — Le ressort du levier de détente a pour mission de maintenir solidement celui-ci, en offrant une certaine résistance à l'ascension du taquet, au moment du désembrayage de l'arbre des cames, et d'amortir le choc contre l'épaulement : si le ressort est trop faible, le taquet, au lieu de glisser contre la surface courbe, abaisse brutalement le levier; sa force acquise n'étant pas dépensée, il bute violemment contre l'épaulement ou même passe par-dessus : un nouvel embrayage se produit et, le même effet se répétant à la fin de ce second tour, on a un déclanchement continu, comparable à celui qui résulte de la trop grande faiblesse de l'aimantation des noyaux ou de l'insuffisance du rappel de l'armature.

Ce défaut se produira d'autant plus facilement que la partie droite de l'épaulement sera plus usée, et, de verticale qu'elle était, devenue oblique : le ressort devra donner à la pièce assez de fermeté sous le choc pour que la stabilité soit assurée.

Toutefois, le ressort trop tendu oppose une résistance antagoniste inutile à l'action des ressorts de l'armature (v. p. 286), dont on est alors obligé d'augmenter encore la tension, d'où un effort supplémentaire demandé au colimaçon pour le rappel. Pour donner la tension convenable au ressort du levier de détente, on desserre la vis de gauche, l'autre étant serrée à fond, puis on met l'appareil en marche et on abaisse une touche : le déclanchement qui en résulte est suivi d'une série d'autres, comme nous venons de l'expliquer; on serre alors lentement la vis de gauche, jusqu'à ce que l'arbre des cames reprenne sa position de repos : la force du ressort sera, à ce moment, sinon tout à fait suffisante, tout au moins très près du minimum nécessaire; pour s'en assurer, on provoque des déclanchements à des intervalles suffisamment espacés pour pouvoir,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à chaque retour au repos, appuyer sur la vis de rappel : on ne doit constater aucun jeu : si la pression exercée ainsi sur la vis permet de l'abaisser (et par conséquent, de relever la tête du levier), le ressort est encore trop faible : on serre la vis de gauche et on recommence l'expérience, jusqu'à ce que le taquet, appuyé contre l'épaulement, ne permette aucun relèvement du levier.

Ce réglage une fois opéré, il sera bon de revoir celui du ressort d'arrière de l'armature, qu'il y aura lieu de détendre, si les essais ont été faits avant que le ressort du levier ait été, lui-même, mis au point.

Dans le cas où l'on éprouverait des difficultés pour opérer le réglage du levier de détente, il faudrait s'assurer que le ressort exerce normalement son action : il arrive, en effet, que, sur un ressort déformé, la vis de serrage ne remplit pas son office ou même redresse le bout, au lieu de l'abaisser lorsqu'on la serre. On vérifie ce point en faisant tourner à la main l'arbre des cames, de manière que la tête du levier de détente surplombe l'intervalle compris entre les deux bouts du colimaçon : on a, alors, tout le jeu voulu pour faire basculer le levier, juger du degré de tension du ressort et de son efficacité.

PLAQUE DE DÉTENTE

La plaque de détente proprement dite ne comporte pas de réglage : on doit seulement s'assurer qu'elle est solidement fixée sur l'arbre des cames; par contre, le cliquet et le ressort seront l'objet d'une vérification minutieuse.

1° **Cliquet de détente.** — L'axe du cliquet de détente doit être bien fixé sur la plaque; il doit laisser au cliquet le minimum de jeu latéral, mais surtout bien remplir le trou du manchon du cliquet : si celui-ci peut coincer sur son axe, les dents ne se présentent pas toujours parallèlement à celles du rochet, sur lesquelles elles peuvent glisser; l'embrayage est alors retardé et on déraille sur la lettre suivante. Le même défaut peut être produit par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'usure des dents : celles-ci doivent avoir des arêtes vives, afin de saisir, au moment de la chute, les premières dents du rochet qu'elles peuvent rencontrer; s'il y a glissement, si le cliquet laisse passer un certain nombre de dents avant de s'emboîter, l'effet est le même que précédemment : on déraille sur la lettre suivante.

L'usure des dents du cliquet ou de celles du rochet peut aussi faire dérailler sur la lettre *précédente;* ou bien, pendant la première demi-révolution, le cliquet peut, si le ressort est faible, tomber en abandonnant les dents qui l'ont d'abord entraîné et venir se mettre en prise avec d'autres, situées en avant de celles-ci : la came de correction arrive trop tôt et peut s'engager dans le creux précédent. Ou bien, pendant le second demi-tour, si la came correctrice a un effort à exercer, si, par exemple, elle doit effectuer l'inversion ou corriger un écart important, les dents du cliquet peuvent glisser sur celles du rochet et, au lieu que ce soit la came qui pousse la roue correctrice, c'est celle-ci, au contraire, qui entraîne la première : il en résulte, pour la roue correctrice, un retard qui, *à l'impression suivante*, permet à la came de s'engager dans le creux qui précède.

On voit que l'usure des dents du cliquet peut occasionner un certain nombre de dérangements : il importe donc de le remplacer dès qu'il est émoussé. Il en est de même du rochet. On vérifie l'un et l'autre de la façon suivante : l'appareil étant arrêté, on appuie sur le levier de détente pour faire faire l'embrayage, puis on cale, avec un doigt de la main droite, le taquet, pour l'empêcher de descendre et, avec la main gauche, on fait tourner le volant en avant : si les dents s'emboîtent bien, le volant glisse sur son assiette et tout le reste de l'appareil demeure au repos; si le rochet peut tourner sans le cliquet, c'est que les dents de l'un ou de l'autre sont émoussées. On imprime alors au volant un mouvement alternatif, en arrière, puis en avant, de manière à mettre successivement le cliquet en prise avec toutes les dents du rochet : on détermine ainsi,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivant que le glissement se produit partout ou sur un point seulement, laquelle des deux pièces doit être remplacée.

2° **Ressort du cliquet de détente.** — Le ressort du cliquet doit maintenir solidement ce dernier contre le rochet et ne pas permettre de glissements, qui produiraient des effets semblables à ceux qui résultent de l'usure des dents. Il ne doit pas être trop fort, car il opposerait à l'ascension du doigt du cliquet sur le plan incliné une résistance nuisible : il en résulterait une usure rapide des pièces en présence, et cela pourrait, en outre, gêner le désembrayage : le doigt, ne pouvant franchir l'arête du plan incliné, retomberait au bas de la face de droite, et les dents du cliquet frotteraient sur celles du rochet, ce qui ne tarderait pas à les émousser; il se produirait ce grincement caractéristique, dont nous aurons l'occasion de reparler.

On vérifie la tension du ressort en faisant l'embrayage à la main, puis en imprimant au volant un mouvement à l'envers, pendant que, de l'autre main, on immobilise le taquet : on doit entendre un bruit sec, résultant de la chute du cliquet dans les creux du rochet qui, successivement, se présentent à ses dents.

On peut faire varier la tension du ressort, en le déformant, par une extension ou une flexion, exercées avec précaution sur son extrémité; toutefois, la dernière de ces deux opérations exige le démontage et le retrait complet de l'arbre des cames.

3° **Plan incliné.** — Les deux vis, qui fixent le plan incliné sur le coussinet de l'arbre du volant, passent dans des trous allongés, qui permettent de le placer dans la position convenable, par rapport au doigt du cliquet de détente. A l'état de repos, les dents du cliquet doivent se trouver très près de celles du rochet, sans, toutefois, les toucher; le doigt s'appuie alors sur la face de gauche du plan incliné. Si celui-ci est poussé trop à droite, le doigt descend trop bas et les dents du cliquet traînent sur celles du rochet, produisant un grincement aigu et une usure rapide des dents.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le grincement est évidemment d'autant plus fort que la prise des dents est plus grande; lorsque celle-ci est très minime, le bruit peut n'être pas perceptible pour une oreille peu exercée : on s'assure qu'aucun contact n'est possible en pressant légèrement sur le cliquet au repos, comme pour l'amener sur le rochet; si l'on entend alors un grincement, c'est que le plan incliné est trop à droite.

Si le plan incliné est trop à gauche, le doigt repose très près de l'arête et il peut arriver qu'au moment du désembrayage, le taquet, butant violemment contre l'épaulement, rebondisse en arrière et permette au doigt de franchir de nouveau l'arête : il se repose alors sur la face de droite et le soulèvement ultérieur de l'armature ne peut déterminer l'embrayage. On peut s'assurer que ce défaut n'est pas possible, en poussant en arrière le taquet au repos : on doit éprouver une résistance et le doigt ne doit pas remonter jusqu'au sommet du plan incliné.

Lorsque le plan incliné est usé, on arrive difficilement à lui donner la position qui évite, à la fois, les deux défauts que nous venons de mentionner : on y remédie alors en surélevant la base, soit en y soudant une semelle, soit en intercalant simplement une petite épaisseur de clinquant.

ROUE DES TYPES

L'impression ayant lieu au moment où la came correctrice est franchement engagée entre deux dents de la roue correctrice, le caractère doit, à ce moment, se trouver sur la verticale qui passe par l'axe de rotation. Afin de pouvoir l'y amener, la roue des types est montée sur son manchon à l'aide de deux vis passant par des trous oblongs : on peut donc la déplacer sur ce manchon et, par suite, par rapport à la roue correctrice.

La vérification de l'impression se fait en prenant, de préférence, des lettres assez larges et aux deux côtés symétriques, telles que D, O, M, etc., si, par exemple, la lettre O est écrasée à droite et maigre à gauche, on en conclut que la roue des types est en avance, puisque le caractère

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a déjà commencé à dépasser la verticale; dans le cas inverse, c'est-à-dire si le caractère est écrasé à gauche et maigre à droite, la roue des types est en retard, le côté droit n'étant pas encore arrivé au point où il aurait nettement laissé son empreinte sur la bande. Il faut donc, dans le premier cas, retarder la roue des types par rapport à la roue correctrice et, dans le second, l'avancer. Pour cela, on desserre très légèrement les deux vis qui fixent la roue des types et on fait tourner d'une petite quantité cette dernière sur son manchon, pendant qu'on maintient la roue correctrice avec la main disponible; puis on bloque les vis et on imprime, de nouveau, la même lettre pour juger de l'effet produit et, au besoin, parfaire.

Lorsque l'orientation semble bien effectuée pour la série des lettres, on s'assure qu'elle est également bonne pour celle des chiffres : on compare, par exemple, l'impression de la lettre O avec celle du chiffre zéro. Il peut arriver qu'après avoir avancé la roue des types, parce que la lettre O s'écrasait à gauche, on constate que le chiffre zéro est plus appuyé à droite qu'à gauche : cela tient à ce que, par suite d'usure du système inverseur, la roue des types est décalée, d'un angle supérieur à 1/56. Si l'écart est peu important, on le partage en deux, en retardant légèrement la roue des types et on peut, ainsi, obtenir une impression suffisamment convenable; sinon, il n'y a pas d'autre ressource que de changer les pièces usées.

Il peut arriver qu'après un long usage, le manchon dans lequel tourne l'axe, lorsque la roue des types est rappelée au blanc, s'est ovalisé : la roue des types ne se meut plus dans un plan perpendiculaire à son axe, elle « voile » : il en résulte une impression irrégulière, et quelquefois, des manques de lettres, si une rencontre peut se produire avec la fourchette, au moment du soulèvement du barillet. On y remédie en intercalant, entre la roue et le galet en acier sur lequel elle est vissée, une ou plusieurs épaisseurs de clinquant, à l'endroit convenable, pour la redresser. Les manques de lettres pourraient également provenir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ce que le jeu pris par le manchon permet à une correctrice trop large de soulever la roue au moment de l'impression et de la dérober ainsi à la rencontre du barillet.

Lorsqu'on a eu l'occasion de séparer la roue des types de son galet, on peut, après remontage, se trouver en présence de ce dérangement bizarre : on imprime des chiffres lorsqu'on fait le blanc des lettres, et réciproquement : cela tient à ce qu'on a décalé la roue des types de 1/56, dans un sens ou dans l'autre : on détermine ce sens et on refait l'orientation de la roue des types, comme nous l'avons indiqué plus haut.

Tampon encreur. — La pression du tampon encreur sur le pourtour de la roue des types dépend de l'énergie de son ressort à boudin : un ressort trop fort détermine une résistance inutile; en outre, le drap du tampon est rapidement déchiqueté par les caractères, qui s'encrassent et ont besoin de fréquents nettoyages. En soulevant le tampon vers la droite, on se rend compte de la pression et on acquiert vite l'habitude nécessaire pour reconnaître si elle est exagérée.

Un ressort trop faible permet au tampon de ressauter après le passage des évidements blanc des lettres et blanc des chiffres : les caractères qui suivent ces espaces sont mal encrés et leur empreinte est plus pâle que celle des autres. On augmente la tension du ressort en tirant à gauche, sur l'extrémité libre qui s'appuie sur le manchon du levier de rappel au blanc.

Il est important, lorsqu'on procède au graissage général de l'appareil, de ne pas omettre de lubrifier l'axe du tampon encreur, qu'on néglige assez souvent : outre qu'on évite, pour cet axe comme pour les autres, d'introduire dans l'appareil une résistance inutile, on va au-devant d'un encrassement rapide de la roue des types, comme cela se produit lorsque le tampon, insuffisamment libre, glisse au lieu de rouler sur le pourtour de la roue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ROUE CORRECTRICE

La roue correctrice ne comporte pas de réglage; elle doit être en acier bien trempé afin que ses dents, sous l'action de la came correctrice, également trempée, s'usent le moins possible : l'agrandissement des intervalles permet à la came un jeu qui se traduit par une impression brouillée, flou, des caractères correspondant aux creux trop grands, la roue des types n'étant pas à ce moment calée comme elle l'est pour les creux que la came remplit exactement. Les dents doivent être très aiguës, afin d'offrir le moins de chances possible à une rencontre directe avec l'arête de la came correctrice, également vive : il en résulterait des chocs, qui arrêteraient brusquement l'appareil et pourraient l'endommager. Dès qu'une dent est émoussée, il faut l'affûter soigneusement, pour éviter ce grave défaut.

Système inverseur. — Le cliquet d'inversion doit être bien trempé, libre sur son axe, sans ballottement; les deux encoches doivent avoir leur sommet à une distance rigoureusement égale à 1/56; cette condition se vérifie en comparant l'impression de la lettre O avec celle du chiffre zéro, ainsi que nous l'avons exposé plus haut (p. 297).

Le ressort du cliquet d'inversion doit être assez énergique pour maintenir solidement le bec du levier à deux branches au fond de l'encoche et empêcher, au moment de l'impression, la roue des types de ballotter, ce qui donnerait une empreinte brouillée. On peut apprécier, de la manière suivante, si le ressort est assez fort : l'appareil étant arrêtée on maintient la roue correctrice avec une main, tandis que l'autre, agissant sur le pourtour de la roue des types, la fait tourner lentement, alternativement à droite et à gauche sur son manchon : si l'on cesse l'entraînement à peu près au milieu de la course, on doit voir la roue des types achever seule le mouvement ou revenir en arrière, rapidement et sans hésitation. On peut faire aussi le même essai en engageant la came correctrice dans le creux obstrué et en lui faisant lentement pousser la plaque d'inversion : la came ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doit pas accompagner celle-ci jusqu'à la fin; dès que l'extrémité du levier à deux branches est engagée au bord de la seconde encoche du cliquet, la pression du ressort doit l'y faire entrer complètement, en achevant le déplacement commencé par la came.

On peut, par les mêmes vérifications, voir si le ressort est trop fort, ce qui occasionnerait des ralentissements, par suite du travail imposé à la came correctrice.

Le levier à deux branches doit être bien fixé sur le manchon de la roue des types; on s'assure qu'il n'est pas dessoudé, en faisant faire l'inversion, comme précédemment, puis, laissant la came correctrice engagée dans le creux, on essaye de faire tourner la roue des types en sens inverse : la plaque d'inversion doit venir se caler contre la came et le mouvement être impossible.

La plaque d'inversion doit être appliquée contre la face postérieure de la roue correctrice et ne pas pouvoir coincer sur son axe. Lorsque l'appareil est neuf, le levier glisse sans jeu dans l'évidement de la plaque mais, à la longue, le levier et les bords de l'évidement s'usent ; le petit intervalle qui se crée entre eux est sans inconvénient si le ressort du cliquet est réglé comme nous l'avons dit; il n'est pas indispensable que la plaque accompagne le levier jusqu'à ce que son autre branche soit au fond de l'encoche : il suffit qu'elle l'amène au bord de celle-ci pour que le ressort fasse le reste; la limite du jeu permis à l'évidement n'est atteinte que lorsque l'inversion n'est plus assurée.

Cliquet d'entraînement. — Les observations faites à l'égard du cliquet de détente s'appliquent également au cliquet de la roue correctrice : il doit être libre sans coincement; ses dents doivent se présenter parallèlement à celles de la roue de frottement et être, comme celles-ci, très aiguës; on s'assure de l'acuité des dents en opérant comme pour le cliquet et le rochet de détente : l'appareil étant arrêté et la roue correctrice embrayée, on imprime à cette dernière un mouvement alternatif de peu d'am-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plitude : chaque fois qu'on tourne en arrière, on doit sentir une résistance, qui résulte du glissement de la roue de frottement sur son assiette et indique que la solidarité des dents est bien assurée. S'il en était autrement, on serait en présence de dents usées ou d'un ressort de cliquet trop faible.

On juge de la pression du ressort en faisant tourner a roue correctrice dans le sens du mouvement ordinaire (celui des aiguilles d'une montre) : si le ressort est assez énergique, on entend nettement un bruit sec, résultant de la chute du cliquet dans tous les creux que lui présente la roue de frottement. Si le bruit n'est pas parfaitement perceptible, il y a lieu de renforcer le ressort, en le tordant avec précaution, car un ressort trop faible permettrait au cliquet d'abandonner le rochet au moindre choc dans l'appareil : les roues de correction et des types ne seraient plus exactement entraînées et on aurait des déraillements sur la lettre précédente.

Comme toujours, le ressort trop fort imposerait à la came correctrice un travail exagéré, chaque fois que celle-ci aurait à corriger un retard, et déterminerait une usure d'autant plus rapide des dents : on devra donc le tenir dans les limites conv nables.

ROUE DE FROTTEMENT

L'assiette de la roue de frottement doit être solide sur l'axe et sa vis de pression serrée à fond; le ressort bombé doit assurer la solidarité entre cette assiette et la roue, sans exagération. On vérifie la pression du ressort en même temps que l'acuité des dents du cliquet et du rochet, à l'aide de la manœuvre indiquée plus haut.

Pour s'assurer que le ressort appuie suffisamment, on fait tourner l'appareil et on pressse sur une touche quelconque, puis on laisse dérouler librement, une cinquantaine de tours, avant d'abaisser, de nouveau, la même touche, qui doit, évidemment, donner lieu à l'impression

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la même lettre. Si la seconde est, au contraire, l'une des précédentes, cela indique que la roue de frottement n'est pas bien entraînée par son assiette, sur laquelle elle a pu glisser de la valeur d'une ou plusieurs divisions. Le même défaut se reproduirait si l'assiette elle-même n'était pas bien fixée sur l'axe.

Pour renforcer le ressort bombé, il suffit, après avoir retiré les roues des types et de correction, de serrer les vis qui le fixent au manchon. Si l'enfoncement complet de celles-ci était insuffisant, on retirerait le ressort et on le tordrait légèrement.

Lorsqu'on aura eu occasion de démonter la roue de frottement, on prendra soin, en la replaçant sur son assiette, de la mettre de manière que les dents soient dirigées dans le sens du mouvement. Si l'assiette elle-même a été déplacée, on cherchera sur l'axe un « coup de pointeau » dont nous avons parlé au paragraphe « Démontage »; le bout de la vis de pression doit venir s'engager dans ce léger trou; s'il n'existe pas, on déterminera soigneusement la distance qui doit séparer l'assiette de la platine : si elle était trop près, la roue de frottement limitant le déplacement du plan incliné, la dent du levier de rappel au blanc ne pénétrerait pas dans l'encoche du plan et le rappel ne s'opérerait pas. Si, au contraire, l'assiette était trop éloignée de la platine, le manchon de la roue des types, ne pouvant être enfoncé suffisamment, dépasserait le bout de l'axe : la rondelle, qui limite le jeu d'arrière en avant de la roue des types, au lieu de serrer sur l'extrémité de l'axe, frotterait sur le bout du manchon : l'appareil ralentirait dès que la roue des types serait rappelée au blanc.

RAPPEL AU BLANC

La plaque sur laquelle est monté le ressort du plan incliné, fixée à la platine à l'aide d'une vis, porte, en outre, sur sa face postérieure, deux pieds ou goupilles en acier, qui s'engagent dans deux trous, percés dans la platine et d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diamètre exactement égal à celui des pieds : la plaque ne peut donc pivoter autour de son unique vis. Les pieds et leurs trous ont été placés après qu'on a eu réalisé les conditions suivantes :

A) Hauteur suffisante du plan incliné, afin que, lorsque la goupille du cliquet se trouve dans l'encoche, les dents du dit cliquet soient complètement séparées de celles du rochet, sans, toutefois, en être trop éloignées.

B) Position convenable de la partie ascendante du plan incliné, pour que la goupille du cliquet la rencontre et la gravisse normalement.

Si, par suite d'usure ou de vice de construction, le plan incliné se trouve trop bas, le rappel au blanc a bien lieu, mais les dents du cliquet, traînant sur celles du rochet, produisent un grincement (moins aigu que celui qui, dans le cas analogue, provient de la détente) : les dents s'useraient rapidement si l'on n'y remédiait. A défaut de pouvoir faire changer, par le mécanicien, la position des pieds de la plaque qui supporte le ressort, on n'aura d'autre ressource que de limer les dits pieds, celui de gauche sur les génératrices supérieures, celui de droite à l'opposé, afin de permettre à la plaque de pivoter autour de sa vis, qu'il faudra alors bloquer soigneusement, pour éviter tout déplacement ultérieur, dès qu'on aura donné au plan incliné la hauteur convenable.

Si, au contraire, le plan incliné est placé trop haut, il arrive qu'aux vitesses modérées, la force acquise n'est pas suffisante pour obliger la goupille à gravir la pente et à venir se loger dans l'encoche : les roues des types et de correction sont arrêtées, mais non repérées, les dents du cliquet traînent sur celles du rochet et grincent. On peut obvier à cet inconvénient, soit en augmentant, si c'est possible, la vitesse de l'appareil, soit en détendant au maximum le ressort du cliquet d'entraînement, pour diminuer le travail demandé à la force acquise. Si ces moyens sont impraticables ou inefficaces, il ne reste qu'à agir, comme précédemment, sur les pieds de la plaque du ressort, mais du côté opposé, pour pou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voir, en faisant pivoter le système autour de sa vis, abaisser le plan incliné.

C) Enfin, le plan incliné doit être placé par construction de manière que, lorsque la goupille du cliquet repose dans la gorge du plan, le bec D de la branche B^1 du levier de rappel au blanc (v. fig. 91, p. 127) s'engage à fond dans l'encoche C du manchon de la roue correctrice. Si cette condition n'était pas réalisée, on agirait encore sur les pieds, mais sur les génératrices latérales, de manière à pouvoir déplacer le plan incliné vers la droite ou vers la gauche, suivant le cas. Il y aurait lieu, très probablement, d'allonger le trou par lequel passe la vis.

L'encoche du plan incliné doit être bien lisse, ainsi que le doigt du cliquet, afin que la mise en marche impose le minimum de travail à la came correctrice, dont l'arête, sans cela, s'émousserait ; en outre, dans ce cas, si les dents du cliquet ou du rochet de détente étaient un peu usées, la résistance rencontrée par la came correctrice ferait glisser l'un sur l'autre, et la seconde émission, au lieu d'un blanc, donnerait un Z. On vérifie la dureté du départ en opérant l'embrayage de l'arbre des cames au repos, et en faisant tourner lentement le volant.

Le doigt du cliquet doit reposer d'une longueur d'au moins 1 millimètre sur le plan incliné et se présenter bien à plat ; si le cliquet a trop de jeu, le doigt, se présentant obliquement, peut quelquefois s'échapper. Le même défaut se produirait si le ressort du plan incliné, étant faussé, présentait l'encoche de travers ; on y remédierait en redressant le ressort ou, si on ne pouvait y parvenir, en introduisant, entre la platine et la plaque qui supporte le ressort, une cale en clinquant ou en carton du côté convenable.

Le ressort du plan incliné doit ramener celui-ci très près de la platine, dès que les roues des types et de correction sont mises en mouvement, de manière qu'il se trouve hors du champ de rotation du doigt du cliquet. Si une rencontre pouvait avoir lieu, les roues feraient un tour entier, puis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'arrêteraient, et on entendrait le grincement des dents du cliquet sur celles du rochet.

La grande branche du levier de rappel doit frotter suffisamment sur la platine pour qu'après l'action de la came de dégagement, l'ensemble des trois branches reste dans la position de repos : si une chute spontanée pouvait se produire, le plan incliné serait éloigné de la platine par le biseau de la grande branche et le défaut dont nous parlions plus haut, qui résulterait de l'insuffisance du retrait par le ressort du plan, se reproduirait : on y remédierait en intercalant une petite rondelle métallique entre la manchon du levier de rappel et la tête de sa vis-axe.

CAME CORRECTRICE

La came correctrice doit être bien fixée dans son manchon, par les deux vis placées à cet effet. Elle doit combler exactement les creux de la roue correctrice, dans lesquels elle s'engage au moment de l'impression. Quand elle est trop étroite, la roue des types n'est pas calée lors du choc du cylindre imprimeur et l'impression est brouillée; si elle est, au contraire, trop large, elle ne pénètre que difficilement entre les dents de la roue correctrice et occasionne des ralentissements de l'appareil.

La vérification de ces conditions s'opère ainsi : on fait à la main l'embrayage de l'arbre des cames et on amène la came entre deux dents de la roue correctrice; on immobilise l'appareil, en maintenant le volant avec la main gauche, tandis que la droite cherche à déplacer la roue dans les deux sens : on doit trouver un jeu insignifiant. S'il n'y en a pas du tout, la came est trop large et on s'en sera, sans doute, aperçu déjà, lorsqu'on l'aura fait entrer dans le creux. Si le jeu arrive, par exemple, à représenter un 1/2 millimètre, la came est trop étroite.

Lorsque le manque de largeur de la came correctrice provient de l'usure de l'arête, il y a encore plus grand intérêt à la changer à cause des chances de chocs, dont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous avons parlé à propos de la roue correctrice : on retire la came de son manchon et on la retourne bout pour bout, si elle ne l'a déjà été. Dans le cas où les deux extrémités auraient servi et seraient émoussées, on la remplace par une neuve, qu'on soumet, avant de la mettre en service, aux vérifications que nous venons d'indiquer.

CAME ET LEVIER DE PROGRESSION

La came de progression, étant rivée sur l'arbre des cames, n'est susceptible d'aucun réglage proprement dit. Lorsque, après un long service, elle est usée au point de ne plus assurer la fonction qui lui est dévolue, on la remplace purement et simplement.

Levier de progression. — Le manchon du levier de progression, monté sur le même axe que celui du levier d'impression et derrière celui-ci, doit pivoter à frottement très doux et ne pas être gêné par le dernier. Le ressort en U doit être assez tendu pour que le bec du levier suive exactement tous les mouvements de la came qui le commande. A l'état de repos, le bec s'appuie de bas en haut sur la partie rectiligne de la came et concourra, par sa pression, à l'embrayage de l'arbre des cames. Dans le cas de vitesse modérée de l'appareil, il suppléera à l'insuffisance de la force acquise, pour aider, au moment du désembrayage, le taquet à gravir la pente du levier de détente et le doigt du cliquet à franchir l'arête du plan incliné. Si donc, le ressort en U est trop faible, le papier n'est pas entraîné régulièrement, l'embrayage de l'arbre des cames se fait paresseusement et il peut arriver que le cliquet de détente, impuissant à prendre sa position de repos, retombe au bas de la montée du plan incliné et frotte contre les dents de la roue à rochet.

Si, au contraire, le ressort est trop fort, il appuie le bec du levier trop énergiquement sur la came et le frottement qui en résulte fait ralentir l'appareil.

On arrive très rapidement à acquérir l'habitude nécessaire pour évaluer la force du ressort en U : on abaisse le levier avec le doigt, puis on le lâche brusquement et on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

observe la rapidité de son relèvement et l'intensité du choc sur la came. Afin de permettre de faire varier, sans le déformer, la pression du ressort en U, la vis qui le fixe à la platine passe dans une rainure allongée : en desserrant la vis, on peut monter ou descendre le ressort et lui donner exactement l'énergie désirée, mais cette opération ne peut se faire qu'après le démontage des roues des types et de correction.

Cliquet de progression. — A l'état de repos, le cliquet doit s'appuyer très près de l'arête d'une dent du barillet, mais au-dessous de celle-ci. Si, par suite d'usure du bec de levier de progression ou de la partie rectiligne de la came, le levier, à l'état de repos, se trouve trop haut, le cliquet vient se placer au-dessus de la dent du barillet; le mouvement ascensionnel, exécuté lors du premier quart de tour de l'arbre des cames, par le levier de progression (v. p. 147), ne fait qu'éloigner davantage le cliquet de la dent sur laquelle il doit agir : il s'ensuit que, lorsque la partie excentrée de la came commence à abaisser le levier, le cliquet doit franchir tout l'espace qui le sépare de la dent avant de commencer à faire tourner le barillet et il en résulte un entraînement insuffisant. On ne peut guère remédier qu'en remplaçant la came ou le levier.

La dent du cliquet doit toujours être terminée en arête vive; on doit l'affûter en cas d'usure, mais on prendra soin de changer le moins possible la distance de l'arête au point de pivot, afin de ne point tomber dans le défaut ci-dessus, résultant de l'usure du bec du levier et de la came; après cette opération, on s'assurera que la prise de dents est encore suffisante et on agirait, le cas échéant, sur la goupille d'arrêt du cliquet; dans le cas où la tige du cliquet viendrait au contraire à frotter contre les dents du barillet, il faudrait creuser ladite tige à la demande.

Le ressort du cliquet de progression doit être assez tendu pour qu'à toutes les positions du levier, le bec soit toujours en contact avec les dents du rochet. Dans le cas où cela ne se produirait pas, il faudrait définir si le défaut ne provient pas d'un manque de liberté du cliquet sur son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

axe : on démonterait et on examinerait le jeu sans l'action du ressort; le cas échéant, on tendrait ce dernier en l'étirant légèrement, puis on renouvellerait l'expérience. L'examen du système de progression se fait en tournant lentement, à la main, l'arbre des cames.

CAME ET LEVIER D'IMPRESSION

Came d'impression. — La came d'impression, comme celles de progression et de dégagement, ne comporte aucun réglage; lorsqu'elle est neuve, elle est très aiguë, mais, après usage, son extrémité s'arrondit et c'est alors qu'intervient efficacement le ressort, placé au-dessus de la tête du levier d'impression, et dont nous parlerons plus loin.

Levier d'impression. — Les mouvements d'élévation et d'abaissement du levier d'impression devant être très rapides, il importe que le manchon soit absolument libre sur son axe. On fait tourner l'arbre des cames d'un quart de tour, au moins, afin de dégager la came d'impression, et on soulève, avec le doigt, le barillet jusqu'au contact de la roue des types, puis on l'abandonne brusquement : le levier doit retomber sans la moindre hésitation. Si ce mouvement n'est pas exécuté d'une façon satisfaisante, on s'assure que le manchon a un peu de jeu (1/2 millimètre environ) entre sa vis de bout d'axe et le manchon du levier de progression; notamment, que la rondelle, serrée sous la tête de la vis de bout d'axe, ne s'appuie pas contre le manchon; on pourra également retirer ce dernier et huiler l'axe pour adoucir le frottement.

Lorsque le bec du levier d'impression est émoussé, il faut l'affûter : l'emploi du ressort de réglage ne doit, autant que possible, être considéré que comme provisoire, car, s'il remédie bien au défaut qui résulte de l'usure, il tend, par sa pression, à l'accentuer encore. L'opération de l'affûtage du levier d'impression est assez délicate : il faut user la pièce de manière que l'arête nouvelle se trouve, par rapport à la came, exactement à la place où était l'ancienne; en outre, la courbe intérieure, avoisinant le bec, doit être réta-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blie telle qu'elle était avant l'usure. Si on se bornait à aviver l'arête, cette courbe se trouverait aplatie, le levier serait soulevé plus lentement, par suite de l'inclinaison moindre de la surface soumise à l'action de la came, et l'impression serait défectueuse. Il faudra également se garder de trop accentuer la courbe : plus sa partie terminale fera, avec la verticale, un angle aigu, plus le soulèvement sera rapide; mais, si on allait trop loin, la face d'avant de la came pourrait rencontrer en plan la courbe avoisinant le bec, l'appareil s'arrêterait brusquement et le choc pourrait endommager les pièces en présence.

Barillet d'impression.— Les vis qui fixent le barillet et son axe doivent être bien serrées, notamment, celle d'arrière, qui ne doit laisser aucun jeu à l'axe, afin que le barillet ne fléchisse pas sous le choc contre la roue des types; la vis d'avant peut laisser un léger jeu dans le sens longitudinal, afin que la liberté du roulement soit assurée. Les dents des petites molettes doivent être assez aiguës pour empêcher le papier de glisser, quand le barillet tourne, ce qui produirait la superposition des lettres imprimées; elles sont trop pointues, si elles mordent assez dans la bande pour que celle-ci s'enroule autour du barillet. On évite ces deux inconvénients en réglant convenablement la pression du ressort de la fourchette en ivoire.

L'anneau de gutta-percha, qui comble l'espace laissé entre les deux rangées de molettes, doit être assez malléable et bien cylindrique; à cette double condition, l'impression pourra être nette et égale. C'est précisément à l'inégalité des empreintes qu'on s'apercevra que l'anneau présente des renflements ou des plats. Il faut, dans ce cas, le remplacer. On enlève d'abord celui dont on a reconnu la détérioration, puis on fait chauffer, pour l'amollir, une petite bande de gutta-percha, qu'on colle autour du barillet, et on roule celle-ci sur une surface plane et humide (pour éviter l'adhérence de la gutta) afin d'égaliser l'anneau avant son refroidissement. La gutta-percha ne doit pas envahir les dents des molettes ni dépasser la hauteur de celles-ci, car

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le papier se gondolerait, l'impression manquerait de netteté et la progression s'effectuerait mal.

Fourchette. — La pression de la fourchette sur la bande se règle en agissant sur son ressort à boudin : lorsque, les dents des molettes étant usées, le papier n'avance pas, on augmente la pression en tendant le ressort; on fait le contraire si les dents, trop aiguës, piquent le papier et l'enroulent autour du barillet.

On facilite le glissement du papier en déposant de l'huile sur une certaine longueur de bande, entre le rouet et le barillet, puis en tirant le papier à gauche, pour faire passer la partie huilée sous la fourchette, qu'on nettoie et qu'on lubrifie ainsi.

Les deux branches de la fourchette doivent appuyer également sur les molettes : si la pression est plus forte d'un côté que de l'autre, le papier avance en zigzag. Cette inégalité de l'appui peut provenir de ce que l'axe de la fourchette n'est pas bien parallèle à celui du barillet; on détermine d'abord de quel côté s'exerce la pression la plus grande et on en conclut que l'axe de la fourchette s'élève ou s'abaisse, par rapport à celui du barillet. On peut le redresser en intercalant, entre le levier d'impression et le manchon de la fourchette, un petit morceau de clinquant ou de carton qu'on place au-dessous de l'axe si on veut relever la fourchette à l'avant, ou au-dessus, dans le cas contraire.

Axe du levier d'impression. — L'axe, qui supporte les manchons des leviers de progression et d'impression, est monté dans une glissière, qui permet de l'élever ou de l'abaisser à volonté. Si le levier d'impression est placé trop bas, l'empreinte laissée sur la bande est maigre; s'il est, au contraire, trop haut, l'impression est écrasée et présente des bavures, qui résultent du contact de la bande avec les côtés des caractères placés à droite et à gauche de celui que l'on imprime. De plus, l'effort inutile, exigé de la came d'impression, contribue à l'user, ainsi que le bec du levier, et est une cause de ralentissement.

Le moyen le plus simple d'amener l'axe du levier à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

hauteur qui convient, consiste à desserrer par derrière la vis qui le maintient dans la glissière, à l'amener au point le plus élevé, à serrer modérément la vis, puis, avec le manche d'un tournevis, par exemple, à frapper de petits coups secs sur le manchon : on fait ainsi descendre l'axe de très peu à la fois et on essaye l'impression : dès qu'on l'obtient telle qu'on la désire, on bloque la vis de l'axe et celui-ci se trouve immobilisé.

Ressort de réglage du levier d'impression. — Nous avons noté (p. 151) que l'usure en rond de la came d'impression et en creux du bec du levier a pour effet d'augmenter le jeu entre la branche horizontale de la fourche et l'arbre des cames, au moment où les deux pièces se trouvent bec à bec : le mouvement de bas en haut du levier n'est plus limité et la vitesse acquise permet à l'anneau de gutta-percha du barillet de venir s'écraser contre la roue des types : il en résulte une mauvaise impression et des bavures. Si l'on abaisse l'axe du levier, pour faire disparaître ces bavures, les empreintes deviennent maigres : on tourne dans un cercle vicieux. Le ressort, placé au-dessus de la tête du levier d'impression, a pour objet de remédier à cette augmentation de jeu. On desserre la contre-vis et on enfonce lentement la vis, jusqu'à ce que les bavures disparaissent ; puis on bloque, à l'aide de la contre-vis. Il est bien entendu que ce ressort, comme tous les autres, ne doit être tendu qu'au minimum nécessaire, sous peine d'introduire dans l'appareil une résistance inutile et même nuisible, par l'usure qu'elle détermine; nous dirons plus : il est préférable de s'attaquer à la cause elle-même, c'est-à-dire de réparer ou de remplacer les pièces usées, plutôt que de tendre indéfiniment le ressort, qui ne fait qu'augmenter le mal.

VOLANT

Si l'appareil vient à s'arrêter brusquement, le volant doit pouvoir glisser sur son assiette et dépenser ainsi sa force acquise. Il importe donc que cette liberté relative soit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assurée. D'un autre côté, si le frottement était trop doux, le volant ne remplirait plus son office de graduateur et, mal entraîné par son axe, occasionnerait des ralentissements et des déraillements sur la lettre suivante. On vérifie le degré de frottement, qui s'oppose au déplacement du volant sur son axe, par la manœuvre que nous avons indiquée (p. 294) pour s'assurer de l'acuité des dents du cliquet et du rochet de détente : on embraye ces deux pièces, on cale le taquet avec une main, tandis que, de l'autre, on fait tourner le volant, qui doit glisser avec une certaine résistance sur son assiette.

Lorsque ce frottement est jugé trop dur ou trop doux, on agit sur le ressort bombé, en enfonçant plus ou moins les trois vis qui les compriment. Pour pouvoir atteindre celles-ci, il est indispensable d'enlever le pontet qui soutient l'axe du volant à sa partie postérieure. On doit, au préalable, laisser dérouler l'appareil jusqu'à ce que le poids touche terre, puis séparer le frein de la tige vibrante et enfin dévisser le pontet. Cette précaution, que nous conseillons de prendre, de laisser reposer le poids avant d'enlever le frein, est surtout importante dans le cas où l'on jugerait à propos de retirer complètement le volant. Si le poids était encore en l'air à ce moment, l'appareil se mettrait en marche et, rien ne pouvant plus intervenir pour limiter l'accélération, celle-ci prendrait bientôt des proportions considérables : l'appareil aurait de fortes chances d'être gravement endommagé, surtout si l'on venait, par inadvertance, à provoquer un déclanchement.

RÉGULATEUR HUGHES

1° Tige vibrante. — Le pied de la tige doit être solidement fixé dans les mâchoires et les vis bloquées à refus; la console qui les supporte ne doit avoir aucun jeu : on s'en assure en essayant de déplacer la tige dans tous les sens; on enlève d'abord le frein, puis on saisit à pleine main la partie en hélice, qu'on tire de droite à gauche, de haut en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bas, etc.; dans le cas où un jeu se révèle, on doit définir s'il incombe aux mâchoires ou à la console, et on y remédie.

La tige vibrante doit être centrée, par rapport à l'axe du volant, de telle sorte que, si elle pouvait vibrer librement, le cercle que décrirait dans l'espace son extrémité libre, se confondrait exactement avec celui que lui fait décrire la manivelle du frein, en l'entraînant dans son mouvement. Deux conditions concourent à la réalisation de cette nécessité :

1° Les mâchoires doivent être placées sur la console dans une situation telle que, si l'on prolongeait l'âme de l'axe du volant, on atteindrait exactement le centre de section de la tige, coupée à son point d'encastrement;

2° L'extrémité libre de la tige, raccourcie de quelques millimètres, devrait se placer rigoureusement dans le prolongement de l'axe du volant.

La première de ces conditions est réalisée par construction; la seconde est sujette à ne pas être remplie exactement, par suite des déformations que peut subir la tige, après un certain temps d'un travail moléculaire comme celui qui lui est imposé. On doit donc, périodiquement, vérifier le centrage de la tige. Pour cela, on retire le frein et on laisse libre l'extrémité de la dite tige vibrante : elle doit venir s'appuyer contre le bout de l'axe du volant, sur lequel était précédemment le manchon du frein; enfin, si on fait tourner à la main le volant, la tige, entraînée par son contact avec l'axe, doit suivre le mouvement et décrire un cercle complet, sans cesser un instant de s'appuyer sur le bout de l'axe. Si elle l'abandonne, par exemple, sur le diamètre horizontal, cela prouve que le centre du cercle qu'elle décrirait librement se trouve dans le même plan horizontal que l'âme de l'axe du volant, mais ne coïncide pas avec celle-ci : le point où a lieu l'abandon indique de quel côté est rejeté le centre. On saisit alors, des deux mains, la partie en hélice de la tige, le plus près possible du point d'encastrement, et on tire du côté opposé à celui où le contact n'a pas lieu, c'est-à-dire à droite si l'abandon se produit à gauche, et réciproque-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment. On déforme ainsi le pied de la tige, jusqu'à ce qu'on ait obtenu le résultat désiré.

La boule pesante doit être assez libre pour obéir avec facilité au curseur qui doit la déplacer,mais ne pas ballotter sur la tige, ce qui gênerait les vibrations et les rendrait irrégulières. Le ressort, introduit dans le trou diamétral de la sphère, doit être juste assez tendu pour concilier ces deux nécessités : liberté suffisante et stabilité complète. Lorsqu'il est avachi, on enlève la boule, pour en extraire le ressort, qu'on plie ensuite avec précaution pour éviter de le rompre, mais en le courbant suffisamment afin que, réintégré dans la sphère et celle-ci replacée sur la tige, il n'y ait pas de ballottement.

La tige du curseur doit être fixée à la boule par une vis, serrée à refus; avant d'engager l'extrémité opposée dans la mâchoire du curseur, on fait tourner la boule sur la tige vibrante, de manière que celle du curseur se présente normalement, sans torsion ni flexion : un défaut de serrage de la vis ou un mauvais placement de la tige du curseur amèneraient, en marche, des déplacements de la boule, et la vitesse varierait. Les vis de la mâchoire du curseur doivent également être serrées à bloc.

Le ressort, placé sous la crémaillère, doit appliquer celle-ci assez fortement contre le pignon qui la commande, afin que les vibrations ne puissent modifier sa position et, par suite, celle de la boule pesante, ce qui entraînerait des changements de vitesse, rendant tout synchronisme impossible.

2° Frein. — Le frein a pour fonctions de maintenir le régulateur dans les limites d'amplitude où les vibrations sont isochrones et de dépenser en frottements les excédents de force, qui pourraient tendre à faire sortir l'amplitude de ces limites. Le réglage du frein est donc extrêmement important.

Le manchon du frein est fixé à l'axe du volant par une vis de pression. Lorsqu'on veut le retirer, pour en vérifier le réglage, on desserre la vis et on dégage le manchon, en le tirant d'avant en arrière; dans ce mouvement, l'anneau de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la manivelle s'engage davantage sur l'extrémité rectiligne de la tige vibrante : on écarte ensuite cette dernière et on retire l'anneau. Si l'on tient dans la main le frein, placé de manière que le bras qui supporte l'excentrique soit dans la verticale, l'anneau de la manivelle doit venir de lui-même se placer devant le trou central du manchon et y revenir rapidement, si on l'en écarte en penchant, puis en redressant le frein.

Le ressort porte-frotteur vient, au repos, s'appuyer sur l'excentrique en ivoire, ce contact ayant lieu près de la partie courbée du ressort; mais l'excentrique doit toujours agir sur la partie rectiligne et non sur la courbe : la pression, avons-nous dit, doit être légère, mais il le faut voir aucun jour entre les deux pièces. L'action de l'excentrique doit commencer aussitôt qu'on écarte l'anneau de la manivelle. On obtient ce résultat en agissant à la pince sur le ressort, à sa partie en hélice : le moyen le plus simple consiste à exagérer un peu la pression sur l'excentrique, puis à revenir en arrière, progressivement : le réglage du frottement du ressort sur l'excentrique est ainsi dégrossi; on ne pourra le parfaire qu'après avoir observé le fonctionnement.

L'amplitude que prendra le régulateur en marche dépend de la distance, au repos, entre le frotteur et la surface de la cuvette cylindrique, autrement dit, de l'angle que forment entre eux les deux bras du ressort porte-frotteur. Pour opérer ce réglage, on replace le frein sur l'axe du volant, *en prenant soin de ne pas décentrer la tige* lorsqu'on introduit son extrémité dans l'œilleton, et on serre la vis de pression, après s'être assuré que le frotteur se trouve, à peu près, vis-à-vis du milieu de la surface du contact, puis on met l'appareil en marche; on observe le cercle décrit par l'extrémité de la tige vibrante et dont le diamètre doit être d'environ 3 centimètres, au minimum : si le cercle est trop petit, cela indique qu'à l'état de repos, le frotteur se trouve trop près de la cuvette, c'est-à-dire que l'angle entre les deux branches du ressort est trop ouvert ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on le ferme légèrement à la pince, et on remet en marche, pour observer de nouveau; si le cercle est trop grand, on en tire la conclusion inverse.

Lorsqu'on règle ainsi la distance entre le frotteur et la cuvette, on doit prendre soin de ne pas modifier la pression du ressort sur l'excentrique : si on rendait celle-ci trop faible, la tige ballotterait à chaque variation de la force motrice disponible; si, au contraire, on exagérait la pression, la tige serait gênée dans ses changements d'amplitude, et, notamment en cas d'accélération, interviendrait tardivement et permettrait à la vitesse de varier d'une quantité appréciable; dans un cas comme dans l'autre, on aurait de fréquents déraillements.

Il y a lieu, toutefois, de tenir compte, dans le réglage du frein, des considérations suivantes, qui nous amèneront à définir exactement le degré de pression qu'on doit donner au ressort porte-frotteur sur l'excentrique en ivoire : la trempe donne à la tige vibrante l'élasticité nécessaire, mais toutes les tiges ne sont pas trempées d'une façon identique; il s'ensuit que, neuves, elles ont déjà des rigidités différentes; en outre, un travail prolongé vient encore modifier ces conditions : le réglage du frein *ne peut donc être le même pour tous les cas*, il doit, au contraire, dépendre de l'état moléculaire de la tige avec laquelle il collabore. On observera donc les mouvements de celle-ci pendant que fonctionne le système imprimeur : on doit voir, à chaque déclanchement, la tige fléchir légèrement, sans brusquerie et sans exagération. L'importance de ces flexions dépend de deux facteurs . le degré de rigidité de la tige et le frottement plus ou moins grand du ressort porte-frotteur du frein sur l'excentrique en ivoire; comme on ne peut modifier en rien le premier, c'est sur le second qu'on agira : lorsque, pendant le fonctionnement de l'impression, les flexions de la tige seront trop accentuées, on désensibilisera le frein, en faisant appuyer plus fort le ressort sur l'excentrique; lorsque, au contraire, on ne constatera aucun chanment dans le mouvement de la tige, on sensibilisera en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diminuant la pression, afin de laisser à la tige plus de liberté pour obéir aux fluctuations de la force disponible. Dans ce dernier cas, toutefois, on s'assurera que le manque de sensibilité ne provient pas de stries produites sur l'excentrique par le ressort; si cela était, on ferait tourner le dit excentrique pour présenter au contact une partie bien lisse, ou, mieux encore, on le changerait, car il y a toujours des chances pour que l'excentrique, tournant autour de sa vis-axe, revienne présenter au ressort sa partie striée. Il est bien entendu, également, que le ressort lui-même doit être exempt de rugosités, afin que l'excentrique puisse rouler librement à chaque changement d'amplitude.

En résumé, le réglage du frein, l'un des plus importants de l'appareil Hughes, par la répercussion qu'il a sur le synchronisme, consiste à rechercher la réalisation de cette double condition : laisser à la tige vibrante toute sa liberté pour la compensation immédiate des variations dans la quantité de force absorbée par l'appareil, tout en empêchant les changements brusques d'amplitude; dès que l'axe imprimeur se met en marche, l'amplitude doit diminuer : il en résulte une diminution proportionnelle du frottement sur la cuvette et une restitution de force, qui maintient constant le régime; la flexion doit être d'autant plus accentuée que le nombre de lettres, dans un temps donné, est plus grand, cela, pourtant, dans des limites que la pratique seule peut déterminer, mais au delà desquelles on dépasse le but cherché : ce que nous avons appelé « désensibiliser le frein », consiste seulement à se maintenir dans ces limites. Il sera nécessaire de désensibiliser lorsqu'on aura affaire à une tige neuve, fortement trempée; au contraire, on devra sensibiliser de plus en plus, au fur et à mesure que la tige, par l'usage, perdra de son élasticité, reviendra plus paresseusement vers le centre lorsque la force qui l'en aura écartée cessera d'agir. Nous ne saurions trop insister sur ce qu'a d'erroné une appréciation, trop souvent émise, et d'après laquelle on considère comme excellent un régulateur qui supporte sans broncher les plus fortes combinai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sons, tandis qu'on accuse de ralentir celui qui marque chaque déclanchement par une flexion de sa tige : c'est le contraire qui est vrai et on évitera, si l'on en tient compte, bien des difficultés.

Il est à remarquer que, lorsque le frein manque de sensibilité, on déraille au moins aussi souvent à la réception de lettres très espacées, comme dans le mot *dune* que dans les combinaisons d'une succession plus rapide, telle que *douze* : cela tient à ce que ces dernières, par le travail qu'elles imposent à l'appareil, font quand même fléchir la tige et, par conséquent, diminuer le frottement du frein, tandis que les premières la laissent insensible et permettent au frein de continuer sa friction, d'où ralentissement.

Chaque fois qu'on a eu à retirer le frein, il est bon, après l'avoir replacé, d'écarter à la main la tige vibrante et de s'assurer que son extrémité ne peut rencontrer ni le frotteur, ni aucune autre partie du frein. Lorsqu'on place un frein pour la première fois, on doit veiller à ce qu'aucun point du ressort porte-frotteur ne vienne au contact de la cuvette, ce qu'on reconnait à une partie brillante à l'endroit où se produit le frottement anormal. On aura soin de graisser, de temps à autre, les différentes parties du frein, notamment l'excentrique, l'anneau de la manivelle et les spires du ressort porte-frotteur; on lubrifiera de même l'intérieur de la cuvette cylindrique; il convient également de la nettoyer de temps à autre, ainsi que le tampon : sans cette précaution, ce dernier finirait par se durcir et sauterait, au lieu de glisser sur la paroi, ce qui gênerait le mouvement de la tige.

RÉGULATEUR SIEMENS ET HALSKE

Les boules sont montées à frottement doux sur les tiges, et comme celles-ci sont absolument cylindriques, il n'y a pas de ressort pour empêcher le ballottement : on se bornera donc à lubrifier de temps en temps les dites tiges, pour faciliter le glissement; les ressorts, qui relient les tiges à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'arbre vertical, doivent être solidement fixés et ne permettre aucun jeu, notamment dans le sens horizontal, ce qui occasionnerait, en marche, un déplacement des tiges dans le sens du mouvement. On s'attachera surtout à rendre égale l'action des deux boules, en les plaçant exactement à la même hauteur : lorsqu'on sera dans la nécessité de remplacer l'une des tiges du curseur, on descendra celui-ci, de manière, que la boule, dont la tige reste, se trouve exactement au bout de sa course; après avoir fixé à l'autre la nouvelle tige de curseur, on placera cette dernière de telle sorte que la position des deux masses soit absolument identique; les deux frotteurs doivent se trouver, au repos, à la même distance de la cuvette (2 à 3 millimètres, environ); on obtient ce résultat, soit en enfonçant plus ou moins les cylindres de cuir, soit en agissant sur les ressorts qui les supportent.

La vis de mise au point, placée sous le tourillon inférieur, permet d'empêcher tout jeu latéral de l'arbre vertical, qui doit seulement en avoir un, très léger, de bas en haut; le jeu de droite à gauche, ou inversement, aurait pour effet de faire coincer la partie supérieure de l'axe sur la tige cylindrique qui commande, par l'intermédiaire de la vis supérieure, la hauteur du curseur. Enfin, cette dernière tige sera huilée de temps en temps, pour l'empêcher de gripper; pour introduire l'huile, on fait pivoter le petit chapeau en acier qui surmonte la vis de réglage du curseur; on lubrifiera également la surface de frottement de la cuvette et les tourillons, celui de la partie supérieure par un petit canal ménagé à la base du mandrin de la vis de réglage.

RÉGULATEUR KOCH

Installation sur l'appareil. — Pour substituer un régulateur Koch à une tige vibrante, il convient d'opérer de la façon suivante : au préalable, fixer à l'intérieur du pont du volant l'assiette qui se trouve

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'extérieur dans l'ancien système; cette assiette peut, sans inconvénient, faire saillie de quatre millimètres.

Après avoir séparé les différentes pièces, monter le cylindre sur le pont à la place de la cuvette du frein Hughes, et, comme celle-ci, à l'aide de deux vis et deux pieds. Il est très important qu'il soit parfaitement concentrique à l'axe.

Diminuer le diamètre de l'axe du volant pour l'ajuster sans jeu dans le trou du prisme et reculer la portée de la quantité nécessaire; l'épaulement doit se trouver à $5^{m}/^{m}$ environ de la face du pont, de manière que, le prisme y étant appliqué, un intervalle de $1^{m}/^{m}$ existe entre les galets des coulisseaux et le fond de la rainure-came. Raccourcir l'axe jusqu'à 12 millimètres de l'épaulement et avoir soin de ne pas laisser de pointe à l'extrémité, afin d'obtenir un emboîtement précis dans la fente des ressorts.

Montage.—Les coulisseaux se trouvant contre le canon du prisme (position de la plus petite vitesse), glisser les ressorts dans les pièces d'encastrement; dans le cas où ils ne seraient pas parfaitement rectilignes, on mettrait, de préférence, la partie bombée en dehors; l'échancrure du milieu des ressorts doit correspondre au trou du canon; on s'en assure en introduisant le prisme sur l'axe : l'extrémité de celui-ci doit venir se loger dans la dite échancrure. Monter aux extrémités des ressorts les tourillons d'articulation; placer les biellettes sur les masses en vissant les vis axiales; enfin accrocher les biellettes aux tourillons, en prenant soin de ne faire fléchir les ressorts que de la quantité strictement nécessaire.

Démontage.—Le régulateur étant en place, on l'amène à la plus petite vitesse en manœuvrant le bouton de réglage *pendant la rotation* (v. p. 181); cette détente des ressorts est indispensable si on ne veut pas s'exposer à les fausser ou à les casser en décrochant les biellettes des masses; enlever ensuite la sertissure et le disque de mica; démasquer le trou latéral de la boîte et y introduire le tournevis, qui peut alors atteindre la vis de pression du prisme; retirer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le régulateur. Imprimer aux ressorts la flexion minima pour dégager les biellettes; enlever les vis fixant les tourillons sur les ressorts; sortir ceux-ci des pièces d'encastrement; détacher les biellettes des masses en dévissant les vis axiales. Les autres pièces ne se démontent qu'exceptionnellement; les galets ne peuvent se séparer des coulisseaux, sur lesquels ils sont rivés.

Réglage. — Avant de mettre le régulateur en place, on écarte les masses à la main pour s'assurer que les deux ressorts sont bien d'égale force, on évitera toutefois de dépasser 15 à 16 millimètres, afin de ne pas risquer de les fausser. Cette vérification peut également se faire en marche, en observant si les masses s'écartent de la même quantité : on peut par exemple, placer un crayon sur leur passage, puis, après avoir arrêté, examiner la trace laissée sur chacune d'elles; si l'un des ressorts est plus flexible que l'autre, la masse qui lui correspond est marquée plus au bord du côté du centre. On remplace ce ressort et on recommence l'opération; si elle donne le même résultat, on remet le premier ressort enlevé à la place du plus rigide et l'on peut atteindre ainsi, sinon l'équilibre absolu, tout au moins une approximation suffisante. On arriverait au même résultat en repolissant le ressort le plus énergique des deux.

On ne mettra jamais en service un régulateur avec un ressort faussé, car on constaterait de sensibles baisses de vitesse, principalement dans les combinaisons de lettres rapprochées. La détérioration des ressorts peut provenir de chocs répétés dans l'appareil, ou encore de ce que le frein d'arrêt agit trop brusquement; on évite cet inconvénient, dans une certaine mesure, en réglant le volant assez ferme sur son assiette. Il va sans dire que la mauvaise trempe est la cause la plus générale de déformation. On peut retremper les ressorts faussés et leur donner une qualité supérieure à leur état primitif en opérant de la façon suivante : après redressement, chauffer au rouge blanc une barre de fer méplat, y appliquer le ressort et l'amener au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rouge uniforme sur toute son étendue; retirer la barre de fer sans déplacer le ressort, glisser, celui-ci à plat sur un plan de fonte humecté d'huile ou d'eau et appuyer dessus, très rapidement, un massif de fer également plan et humide; après quelques instants, retirer le ressort, vérifier à la lime si toute sa surface est bien trempée; le polir sur un liège, en opérant délicatement pour éviter de le casser, enfin le faire revenir d'un bleu uniforme, en le chauffant dans un bain de sable ou sur une plaque.

Les articulations des biellettes doivent être parfaitement libres, sinon le régulateur, paresseux, interviendrait tardivement lors des variations de vitesse et on constaterait des déraillements.

Les coulisseaux porte-galets, au contraire, doivent offrir un frottement plutôt ferme sur le prisme; s'il est trop doux, on constate le retour du ronflement occasionné par la rencontre des galets et de la rainure-came, quelques instants après le réglage; on s'assure alors que les vis d'assemblage des pièces d'encastrement sont bien serrées à bloc; si la cause du défaut n'est pas là, on retire le ressort de glissière et on accentue sa courbure jusqu'à ce que, remis en place, il assure une friction convenable. A la suite d'un long usage, un jeu peut se produire sur le prisme, dans le sens où le ressort n'a pas d'action; on s'en assure, le ressort étant retiré, puis on démonte les pièces d'encastrement et on frotte la surface d'applique sur une feuille de papier d'émeri posée sur un plan.

Les frotteurs doivent être bien garnis d'étoupe et se présenter de telle sorte que le métal ne puisse, en aucun cas, venir frotter contre la paroi du cylindre; ils doivent être, au repos, à égale distance de cette dernière (de 4 à 8 $^{m}/^{m}$) afin qu'au démarrage ils arrivent en même temps au contact : cela assure l'égalité du travail de chacun d'eux pendant la marche.

Le bouton de réglage ne doit pas tourner trop librement, afin que les trépidations ne puissent le déplacer, ce qui entraînerait des modifications intempestives de la vitesse;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on règle la dureté du frottement à l'aide des vis de serrage du coussinet; la vis que commande le bouton doit être bien fixée à la pièce qui porte la rainure-came, par la vis d'assemblage et les deux pieds.

L'entretien consiste uniquement à huiler les diverses articulations, les coulisseaux et la rainure-came, à l'exclusion de la cuvette, suffisamment lubrifiée par les projections d'huile en marche; on doit, au contraire, enlever périodiquement celle qui s'accumule à la partie inférieure de la boîte cylindrique.

Le régulateur étant ainsi réglé, on le place sur l'axe en tenant le prisme dans une position sensiblement horizontale, afin d'éviter qu'un galet puisse venir buter contre les parties saillantes de la rainure-came; on a soin de bien serrer les vis de pression; on s'assure également que le régulateur est complètement enfoncé, condition sans laquelle les galets ne pénétreraient pas dans la rainure-came : la manœuvre du bouton de réglage resterait alors sans effet sur la vitesse. Si l'appareil ne démarre pas, c'est que la hauteur des galets et celle de la rainure-came ne concordent pas : le plus simple est de pousser sur le volant, pour obliger les galets à franchir la dite came. On observe ensuite les fluctuations de l'amplitude pendant le travail de l'appareil : on peut utiliser, à cet effet, un miroir convenablement placé qui permet à l'opérateur de manipuler lui-même tout en ne perdant pas de vue le régulateur. Dans les combinaisons de lettres très rapprochées, on doit voir les masses revenir nettement vers le centre, pour les raisons données plus haut (v. p. 316) mais sans que pourtant l'amplitude soit réduite à zéro. S'il en était ainsi, on se trouverait en présence d'un ralentissement, dont il faudrait rechercher la cause dans un frottement exagéré des différentes pièces de l'appareil, ainsi qu'il sera dit au chapitre « dérangements. »

Le réglage en ligne se fait comme avec les autres régulateurs; on a soin seulement de supprimer le ronflement en imprimant au bouton un léger mouvement dans le sens opposé à celui qui a terminé le réglage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ORGANES DU MOUVEMENT

1° Mouvement d'horlogerie. — Les axes doivent être libres sur leurs paliers et glisser à frottement doux ; ils doivent avoir un peu de jeu latéral : pour s'en assurer, le poids étant à terre, on prend successivement la grande roue de chaque axe, on doit pouvoir lui imprimer un léger déplacement dans le sens de la longueur de l'axe ; si ce jeu n'existait pas, l'appareil offrirait une trop grande résistance au roulement : les platines seraient trop serrées.

2° Chaîne de Galle. — La chaîne de Galle doit être vérifiée de temps à autre, afin de s'assurer qu'aucune maille ne tend à se détacher, par suite d'usure, et ne peut faire craindre une rupture et la chute du poids ; la vis-goupille, qui réunit les deux extrémités doit être serrée à bloc, dans le même but. Les poulies du poids et du contrepoids doivent être bien libres sur leurs chapes, afin d'éviter le glissement de la chaîne sur leurs gorges, ce qui amènerait une usure et, en outre, dépensant une grande partie de la force motrice pourrait produire des ralentissements. La même observation s'applique aux galets qui guident le mouvement de la chaîne, dans sa partie comprise entre le contrepoids et la roue du premier mobile.

REMONTOIRS

1° Remontoir à pédale. — Les cliquets d'entraînement et de retenue doivent être libres et énergiquement commandés par leurs ressorts : si ceux-ci sont faibles et les cliquets un peu émoussés ou insuffisamment libres, il y a glissement sur les dents du rochet. Si le défaut affecte le cliquet d'entraînement, la pédale se meut sans que le poids soit remonté, si c'est du cliquet de retenue qu'il s'agit, le poids est bien remonté, mais il redescend en même temps que la pédale revient au repos.

Le ressort antagoniste de la pédale doit être assez énergique pour ramener celle-ci vivement au repos, en faisant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rétrograder la roue et le cliquet d'entrainement ; si la pédale abaissée, reste au bas de sa course, cela peut provenir d'une insuffisance de liberté de la roue ou bien de la faiblesse du ressort. Dans ce dernier cas, on peut, soit raccourcir ce dernier, soit, plus simplement, l'accrocher à des maillons situés plus à droite que celui sur lequel il agit. On aura soin alors, pendant qu'on changera le point d'attache du ressort sur la chaîne, de maintenir la goupille d'arrêt de la roue contre le massif du remontoir.

La course de la pédale dépend du moment où la dite goupille d'arrêt vient, au retour, buter contre le massif ; on la réglera de manière qu'au repos, la pédale se trouve à la même hauteur que l'épaulement qui, à gauche, sert de point d'appui au pied de l'opérateur. Pour l'amener à cette position, on déplacera le bout de chaîne sur la roue, en raccourcissant ou en allongeant, suivant le cas, la branche à laquelle s'attache la tige de pédale : on prendra, des deux mains, la chaîne, de chaque côté de la roue, on soulèvera et, portant les mains à droite ou à gauche, on emboîtera les mêmes dents de la roue dans d'autres maillons.

2° Remontoir automatique électrique. — Le ressort du cliquet, placé derrière la roue que commande la vis sans fin, doit être tendu sans exagération, afin d'assurer la liberté de l'axe du pignon, lors du remontage à l'aide de la pédale.

La poulie, qui reçoit le mouvement du moteur électrique, doit être dans le même plan que celle qui la commande. A cet effet, l'une et l'autre sont montées sur leur axe à l'aide d'une vis de pression, qui permet de les déplacer d'une certaine quantité et de les amener bien en face l'une de l'autre : on conçoit que, sans cette condition, la courroie qui les réunit aurait des tendances à glisser le long de la partie ascendante des gorges et à sauter au dehors.

Les courroies sont constituées par des lanières de cuir, tordues sur elles-mêmes, et dont les extrémités sont réunies par de petits crochets en acier. On fait varier leur longueur à volonté, en séparant les deux crochets et en tordant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus ou moins, avant de les refermer : on règle ainsi la tension entre les deux poulies. Cette tension doit être suffisante pour assurer l'entraînement et empêcher le ballottement de la courroie, qui pourrait sauter hors des gorges ; mais on évitera d'exagérer la roideur, qui est une cause de perte de force ; en outre, les crochets finissent par couper le cuir et la courroie s'échappe : cet inconvénient se répétera d'autant plus fréquemment que la courroie sera plus tendue.

3° Remontoir Popp. — Ce remontoir, d'une simplicité extrême, ne comporte, à la vérité, aucun réglage : on graissera les quelques pièces frottantes qu'il comporte, on assurera la liberté de la poulie-guide du contrepoids du piston. Le robinet d'admission et d'échappement de l'air comprimé devra être périodiquement rodé et graissé avant le remontage.

MOTEURS ÉLECTRIQUES

La grande rapidité de rotation de l'induit rend le graissage de l'axe très important : les petits godets doivent toujours contenir de l'huile, qu'une mèche conduit, par capillarité, jusqu'à l'axe. Celui-ci doit être bien libre et avoir, entre ses paliers, un peu de jeu, dans le sens de sa longueur.

Le calage des balais (v. p. 194) s'opérera par tâtonnement, pendant le remontage du poids préalablement descendu jusqu'à terre, afin d'avoir le maximum de temps pour effectuer le réglage : on appréciera la vitesse d'après la rapidité avec laquelle le cliquet de retenue, en tombant dans chaque creux du rochet, indiquera le mouvement de celui-ci : on déplacera lentement la glissière porte-balais dans un sens et dans l'autre et on cherchera le point où les coups de cliquet se succéderont avec le plus de rapidité ; dès qu'on l'aura trouvé, on serrera les vis qui fixent les joues en laiton du moteur sur l'inducteur, et la glissière se trouvera immobilisée dans la meilleure position : les balais qui remplaceront ultérieurement ceux-ci seront, de ce fait, calés une fois pour toutes.

Lorsque le système le permettra, on évitera de placer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les deux balais à la même distance de la glissière, afin que le collecteur s'use d'une façon plus uniforme. Dans tous les cas et dans le même ordre d'idées, on donnera aux balais le minimum de pression, on arrachera les brins usés, qui, frottant sur les touches précédant celles sur lesquelles s'appuie le faisceau, produisent des courts-circuits, d'où une dépense inutile de courant et des étincelles, qui détériorent le collecteur; on s'abstiendra surtout, lorsqu'un balai sera usé, de le faire appuyer en le calant avec un corps quelconque, car son point d'appui ne serait plus sur le même diamètre que celui de l'autre balai : la répartition du courant, entre les deux séries de bobines, se ferait dans de mauvaises conditions et on aurait encore des étincelles.

L'entretien quotidien du moteur consiste encore à débarrasser le collecteur des poussières métalliques et des oxydes qui forment une traînée sur les coquilles et sur les intervalles qui séparent celles-ci : on évitera ainsi des courts-circuits et l'échauffement du moteur; ces recommandations sont surtout importantes pour les postes dans lesquels, au lieu de remonter le poids, le moteur électrique est attelé directement sur l'axe du volant et où, par suite, la régularité absolue du mouvement est indispensable.

Les socles des moteurs électriques, en usage au Poste Central, sont percés de deux trous dans lesquels deux goupilles de repère, plantées dans la table, s'engagent pour assurer la stabilité nécessaire. Il arrive parfois que ces goupilles, mal placées, ne présentent pas la poulie du moteur dans le plan de celle du remontoir, quelle que soit la position qu'on donne, sur l'axe, à l'une ou à l'autre; on ne pourrait remédier à cet inconvénient qu'en serrant la courroie de façon exagérée, pour l'empêcher de sauter en dehors des gorges; les désavantages de cette roideur trop grande ont été indiqués et il est préférable de changer, une fois pour toutes, la position des goupilles de repère.

Les alternomoteurs, n'ayant pas de balais, ne comportent pas de réglage : il suffit de les entretenir en bon état de propreté et de graissage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVIII

RÉGLAGE EN LIGNE

Réglage du synchronisme. — Lorsque deux appareils, reliés par un fil de ligne, entrent en contact pour la première fois, leurs vitesses sont évidemment quelconques : il faut donc, tout d'abord, les rendre identiques, pour établir le synchronisme indispensable à la correspondance.

Tant que ce réglage n'est pas opéré, les émissions que peut envoyer l'un des appareils provoquent dans l'autre l'impression de signaux quelconques, c'est-à-dire sont intraduisibles; or, il était indispensable, pour l'entente préliminaire, d'établir des conventions préalables et de faire appel à l'ouïe, pour la traduction des quelques signaux qui annoncent à l'un des correspondants la présence de l'autre et invitent au réglage.

L'appel et la réponse à celui-ci se font par l'envoi du signal blanc des lettres N, qu'on répète plusieurs fois de suite : des émissions séparées par des intervalles égaux annoncent à celui qui les reçoit, et quelles que puissent être les lettres qu'accuse sa bande, qu'elles sont provoquées par un appareil Hughes. On y répond de la même façon. L'un des correspondants demande alors à régler, par l'envoi du signal IT IT IT?, dont le bruit caractéristique arrive rapidement à frapper l'oreille du hughiste le moins exercé. A l'audition de ce signal, celui qui l'a reçu appuie, à chaque tour de son chariot, sur une touche de son clavier, généralement le blanc des lettres, mais toujours la même : une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suite d'émissions, séparées par des intervalles rigoureusement égaux au temps que le chariot met à accomplir une révolution complète, arrivent donc chez le correspondant et lui donnent le rythme exact du mouvement à donner à son propre appareil.

Si le synchronisme était réalisé, la lettre imprimée à chaque émission reçue serait toujours la même; mais il n'en est généralement pas ainsi et c'est d'après les signaux enregistrés sur sa bande que l'opérateur jugera dans quel sens et dans quelle proportion sa vitesse diffère de celle du correspondant : si les lettres imprimées se succèdent dans l'ordre alphabétique A, B, C, D, etc., l'appareil récepteur tourne trop vite, puisque, lorsque le chariot transmetteur a fait un tour, exactement, l'autre a accompli une fraction de plus que la révolution complète. Si, au contraire, on reçoit dans l'ordre Z, Y, X, etc., l'appareil récepteur ne tourne pas assez vite, puisque sa roue correctrice ne présente que 27 divisions à la came pendant que le chariot de l'autre poste passe au-dessus des 28 goujons. On devra, dans le premier cas, diminuer la vitesse et, dans le second, l'augmenter.

Supposons que nous recevions dans l'ordre alphabétique, nous prendrons en main le bouton de réglage du régulateur et, si nous opérons sur celui de M. Hughes, nous tournerons lentement, en sens inverse des aiguilles d'une montre, de manière à éloigner la boule du point d'encastrement; cela, sans cesser d'observer la bande. Il arrivera bientôt un moment où la même lettre sortira à chaque tour. Nous pourrions croire que le réglage est terminé et que la vitesse de notre appareil est exactement celle du correspondant. En réalité, nous n'avons encore qu'une approximation, parce que nous ne pouvons pas savoir de quelle quantité la came correctrice rectifie la position et nous avons vu, d'autre part, que des écarts d'une demi-division ou 1/56 peuvent, grâce à son intervention, passer inaperçus. Il faut donc, pour parfaire le réglage, empêcher la came correctrice de jouer son rôle compen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sateur et laisser s'accumuler, pour qu'ils deviennent tangibles, les écarts qui peuvent, à chaque tour, se produire encore.

A cet effet, nous mettrons la manette placée à gauche sur la table de l'appareil (v. p. 266), en contact avec le plot *m* : les courants arrivant de la ligne seront ainsi conduits à la terre, sans passer par l'électro-aimant; nous laisserons notre appareil tourner librement pendant 4 ou 5 tours : si, après avoir rompu la communication entre la manette et le plot, les émissions ultérieures nous donnent l'impression de la lettre même que nous avons eue en dernier lieu, le G par exemple, cela nous indique que les écarts qui ont pu se produire pendant ces 4 ou 5 tours, accomplis sans correction, n'arrivent pas à faire, au total, une somme supérieure à 1 /56.

Deux autres cas sont possibles : ou bien nous aurons sur la bande la lettre H ; cela nous indiquera que nous tournons encore un peu plus vite que le correspondant : nous éloignerons, mais très légèrement, la boule du point d'appui de la tige du régulateur. Ou bien la lettre F sera imprimée : nous en conclurons que nous sommes en retard, sinon d'une division, puisque nous ne savons pas quelle a été l'importance de la correction, mais, au moins, d'un peu plus de 1 /56 : nous ne tournons pas assez vite; nous rapprocherons la boule du point d'encastrement.

La manœuvre convenable opérée, on recommence la mis à la terre,en augmentant le nombre de tours,et on arrive bientôt à retrouver la lettre imprimée en dernier lieu, après un intervalle de 10 révolutions complètes : on se contente généralement de ce résultat qui indique, que, sans avoir atteint l'identité absolue de vitesses, on s'en rapproche suffisamment pour que la came correctrice puisse maintenir le synchronisme, sans qu'on lui impose une tâche par trop laborieuse.

Réglage de l'électro-aimant. — Si, avant l'entrée en contact, l'électro-aimant a été réglé comme nous l'avons indiqué (v. p. 287), il y a de fortes chances pour qu'on n'ait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

guère à y retoucher en ligne. Il pourra arriver, toutefois, que, pour soustraire l'armature à l'action des influences d'induction et autres, l'on soit obligé de sacrifier un peu de la sensibilité de l'électro-aimant, en retirant du fer doux.

Le réglage en ligne de l'organe électro-magnétique se fait sur la réception de la combinaison INT blanc, transmise par le correspondant et répétée à chaque tour de son chariot aussi longtemps que cela peut être nécessaire. L'Agent réceptionnaire observe sur sa bande les signaux qu'il reçoit et en tire la conclusion convenable : s'il reçoit par exemple IOT, la substitution de O à N lui indique que son armature s'est soulevée trop tard; souvent même la correction qui en est résultée a complètement décalé la roue correctrice d'une division et on reçoit I O U A J O U, etc. : l'électro-aimant n'est pas assez sensible, on enfonce le fer doux.

Le moyen le plus simple pour régler le fer doux consiste à l'enfoncer jusqu'à ce qu'on obtienne des lettres en trop : on est alors averti qu'on vient de dépasser la limite à partir de laquelle l'aimantation est insuffisante pour faire échec à la tension des ressorts; on revient alors en arrière, en retirant lentement le fer doux, jusqu'à ce que la combinaison sorte bien; on observera, pendant quelque temps encore, pour voir si, par exemple, un déraillement sur les lettres précédentes ne se produirait pas, ce qui indiquerait qu'on n'a pas tout à fait retiré assez de fer doux.

Dès qu'on a atteint le point juste, on interrompt le correspondant et on lui fait également des INT afin qu'il puisse, à son tour, opérer le réglage de son électro-aimant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XIX

DÉRANGEMENTS

Vérification de l'appareil. — Le réglage que nous venons d'indiquer a pour but de mettre les différentes pièces de l'appareil dans les meilleures conditions de fonctionnement; mais, si une vis se desserre, si un fil de communication se détache, l'appareil enregistre mal ou n'accuse plus du tout les signaux venant de la ligne : on se trouve en présence d'un « dérangement ». Cela revient à dire qu'il y a autant de dérangements possibles que de pièces mobiles, de vis et de fils conducteurs; il s'ensuit également que des causes très diverses pourront produire un résultat identique et que, seule, une vérification méthodique de l'appareil permettra de remonter de l'effet à la cause.

Lorsque, par exemple, la correspondance sera fréquemment interrompue par des déraillements, on vérifiera d'abord le réglage du synchronisme; si celui-ci est parfait, on refera, de même, celui de l'électro-aimant. Si, au contraire, le synchronisme ne peut être atteint, on se trouve en présence de variations de vitesse dans l'un ou l'autre des appareils en relations. Chacun des deux correspondants procédera alors à des essais en local, dans le but d'arriver à circonscrire le défaut : combinaisons comportant un grand nombre de lettres par tour, pour voir si l'appareil ralentit; si oui, vérification des pièces frottantes, notamment de celles qui travaillent à grande vitesse; si non, centrage de la tige vibrante, réglage du frein, etc.; bref, application, à chacune des pièces soupçonnables du réglage que nous avons indiqué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dérangements possibles, nous l'avons dit, sont extrêmement nombreux, mais les perturbations qu'ils apportent dans le fonctionnement de l'appareil peuvent se réduire à un nombre relativement restreint de manifestations différentes. Nous allons passer en revue quelques-unes des plus fréquentes, en nous bornant, afin d'éviter des redites, à mentionner les pièces qui peuvent être mises en cause dans chaque cas : il suffira de se reporter au paragraphe concernant le réglage de chacune d'elles pour connaître le remède à appliquer et la façon de procéder.

IMPRESSION DÉFECTUEUSE

1° *L'impression manque complètement.* — Le tampon encreur, coincé, ne frotte pas sur la roue des types; l'axe du levier imprimeur est placé trop bas.

2° *Certaines lettres manquent et sont remplacées par des blancs.*

A) Si ces lettres sont toujours les mêmes, voir si les types ne sont pas usés et, dans ce cas, remonter l'axe du levier imprimeur, en ne dépassant pas, toutefois, le point à partir duquel l'impression des autres lettres s'écraserait et ferait ralentir l'appareil; changer la roue des types, si le moyen précédent est reconnu impraticable. Le même défaut peut se produire lorsque la roue des types est « voilée » : par suite de la pression constante du cliquet d'entraînement, le manchon de la roue des types finit par s'ovaliser et la roue ne tourne plus dans un plan perpendiculaire à son axe : certains types peuvent être rencontrés par la fourchette en ivoire, qui s'oppose à l'élévation du barillet; la progression se fait quand même et les lettres non imprimées sont remplacées par des blancs. Le même défaut peut se produire si la came correctrice, trop large, peut, grâce au jeu pris par le manchon de la roue des types, soulever celle-ci au moment où le barillet s'élève; la roue des types est ainsi dérobée à l'impression.

B) Si les lacunes ne correspondent pas toujours aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mêmes lettres, la cause est plus générale; voir si la branche inférieure du levier d'impression ne frotte pas contre la came de progression ou contre le levier, ou bien si la goupille, qui limite le jeu du cliquet de progression ne vient pas buter sur la rigole en laiton qui conduit la bande vers la gauche.

3° *Manques de lettres sans blancs à la place.* — Si ce défaut affecte toujours la même lettre, cela peut provenir de l'usure du goujon au départ. S'il se produit indifféremment pour toutes les lettres : mauvaise communication de l'un des appareils, défaut de sensibilité de l'électro-aimant du récepteur, tension exagérée du ressort du levier de détente, coincement de ce dernier, plan incliné trop à gauche (le doigt du cliquet peut rester sur la face de droite, mais, dans ce cas, on ne recevrait plus rien à partir du moment où le défaut se serait produit). En local : tige de l'automatique trop longue.

4° *Bavures sur la bande.* — Roue des types encrassée. Anneau de gutta-percha inégal; axe du levier d'impression trop haut; la came et le bec du levier d'impression étant usés, le ressort qui appuie sur la tête de ce dernier n'est pas assez tendu.

5° *Impression pâle des lettres A et É.* — Le ressort, qui presse le tampon encreur sur le pourtour de la roue des types, est trop faible et permet au tampon de ressauter après avoir franchi les évidements blanc-des-lettres et blanc-des-chiffres.

6° *Caractères écrasés à droite et maigres à gauche, ou inversement.* — La roue des types est mal orientée par rapport à la roue correctrice : si les caractères sont écrasés à droite, la première est trop en avance, et inversement.

7° *La roue des types, bien orientée pour les lettres, l'est mal pour les chiffres.* — Le système inverseur, par suite d'usure, a pris du jeu et le déplacement de la roue des types à l'inversion est supérieur à 1 /56.

8° *Les caractères sont écrasés dans le haut et maigres dans le bas, ou inversement.* — La surface de l'anneau de gutta-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

percha n'est pas parallèle à celle des types ou bien l'axe du barillet n'est pas parallèle à celui de la roue des types.

9° *Impression alternativement bonne et mauvaise.* — Le ressort du cliquet d'inversion est trop faible et permet à la roue des types de ballotter; la surface des encoches du même cliquet présente des stries, sur lesquelles peut, à certains moments, s'appuyer le levier à deux branches, d'où décalage de la roue des types.

10° *Impression bonne à la transmission et mauvaise à la réception.* — La came correctrice ballotte dans son manchon; ou elle est trop étroite; ou bien elle est usée; la correction étant nulle à la transmission, l'impression peut, malgré ces défauts, être bonne, tandis qu'à la réception, la came correctrice modifie à chaque instant la position de la roue des types.

11° *L'inversion se fait spontanément dans le corps des mots.* — Le ressort du cliquet d'inversion est trop faible ou bien la partie qui sépare les deux encoches est usée; la liaison entre les roues de correction et des types étant uniquement assurée par le système inverseur, il arrive que, sous le choc du barillet, la roue des types se trouve arrêtée, tandis que la roue correctrice continue le mouvement; le cliquet se déplace sous le levier d'inversion.

PROGRESSION IRRÉGULIÈRE

1° *Les caractères se superposent.* — Le rouet est trop serré; la fourchette est sale (la nettoyer en tirant sur la bande, préalablement huilée); les dents des molettes sont usées; la fourchette appuie insuffisamment; le ressort à boudin du cliquet d'entraînement est trop faible; le ressort en U est trop bas; la came correctrice est déplacée en avant et empêche le levier de progression de se soulever; ce dernier levier n'est pas libre sur son axe. Dans les trois derniers cas, le levier de progression ne remonte pas au moment de l'embrayage et le cliquet à ressaut ne peut saisir la dent de rochet placée au-dessus de lui.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Le papier se gondole.* — L'anneau de gutta-percha est trop épais et dépasse la partie supérieure des dents des molettes.

3° *Le papier s'enroule autour du barillet.* — Les dents des molettes sont trop aiguës; la fourchette appuie trop énergiquement.

4° *L'impression se fait en zig-zag.* — La fourchette appuie plus fort d'un côté que de l'autre; le barillet a trop de jeu; la roue des types est voilée (v. p. 333, 2° paragr. A.).

DÉCLANCHEMENTS CONTINUS

1° *L'armature se soulève.* — L'électro-aimant est trop sensible (détendre les ressorts ou retirer du fer doux); l'électro-aimant est trop haut ou trop bas, penche à droite ou à gauche; le papier qui recouvre les plaques polaires est sale ou décollé; la vis de réglage du levier de détente, insuffisamment enfoncée, ne ramène pas l'armature au contact des noyaux; les ressorts de la came correctrice ne se quittent pas, ou encore, la vis qui fixe le bout d'ébonite sur le ressort supérieur, vient toucher le pontet de l'arbre des cames, pendant que la came correctrice accomplit sa révolution; ou enfin, une communication anormale entre les deux ressorts supprime l'interruption et permet à l'armature, lors de son rappel, de développer un courant induit dans les bobines.

2° *L'armature reste au repos.* — Le déclanchement continu, peut, dans ce cas, se produire si : le ressort antagoniste du levier de détente est trop faible; le levier de détente est dessoudé et peut se mouvoir sur son axe; l'épaulement ou le taquet sont arrondis par suite d'usure; la tige de l'automatique est trop courte.

GRINCEMENTS

Les grincements qui peuvent se produire dans l'appareil, proviennent du frottement anormal des dents d'un cli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quet sur celles du rochet qui le commande, lorsque le premier est immobile et que l'autre tourne librement. On arrive très rapidement à distinguer le grincement aigu du cliquet sur le rochet de détente, de celui, beaucoup plus grave, du cliquet de la roue correctrice sur la roue de frottement, cette dernière tournant sept fois moins vite que le rochet de détente.

1° *Grincement aigu.* — Par suite d'insuffisance de force acquise, le taquet ne peut gravir la courbe ascendante du levier de détente et le doigt du cliquet reste au bas du plan incliné : les dents du cliquet traînent sur celles du rochet (déclanchement provoqué peu de temps après la mise en marche et avant que l'appareil ait pris sa vitesse normale — ressort en U du levier de progression trop faible — ou encore ressort du cliquet de détente trop fort). Si le grincement est continuel : le plan incliné, trop à droite, laisse descendre trop bas le doigt du cliquet; le plan incliné ou le doigt du cliquet sont usés.

2° *Grincement grave.* — Le rappel au blanc est effectué avant que l'appareil ait une vitesse suffisante pour que la force acquise agisse efficacement : le doigt du cliquet de la roue correctrice reste au bas du plan incliné; ce dernier est placé trop haut et le doigt ne peut le gravir; ou bien il est trop bas et, quoique le doigt repose dans l'encoche, les dents du cliquet traînent sur celles du rochet de frottement.

RAPPEL AU BLANC DÉFECTUEUX

1° *Les roues des types et de correction ne sont pas arrêtées.* — Le levier de rappel n'est pas libre sur son axe et la dent ne pénètre pas dans l'encoche du manchon de la roue correctrice; la roue de frottement est trop près de la platine et empêche le plan incliné de se déplacer; le plan incliné est trop bas et la goupille du cliquet passe par-dessus sans le toucher.

2° *Les roues arrêtées partent à la première émission, mais s'arrêtent de nouveau au tour suivant.* — Le levier de rappel,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trop libre, retombe après avoir été chassé et pousse, de nouveau, le plan incliné dans le champ de rotation de la goupille du cliquet; le ressort-lame, insuffisamment élastique, ne ramène pas le plan contre la platine.

ARRETS BRUSQUES

L'arête de la came correctrice, émoussée, vient buter contre une dent insuffisamment effilée de la roue correctrice (remplacer la came et affûter la dent). Le plan incliné, dévissé, a reculé à droite : les dents du cliquet sont en prise avec celles du rochet, lorsque le taquet arrive contre l'épaulement. La came d'impression est faussée et se cale contre le levier; celui-ci a été mal retaillé (v. p. 309).

BALLOTTEMENT DE LA TIGE VIBRANTE

On dit que la tige ballotte lorsqu'au lieu de vibrer d'une façon régulière, avec un bruit uniforme et constant, elle prend, sans causes apparentes, des amplitudes très différentes, en produisant, pendant ces changements, un bruit irrégulier, très caractéristique. On reconnaît ce dérangement, qui indique un défaut d'isochronisme et se traduit par des déraillements fréquents, à divers symptômes : quand on met l'appareil en marche, l'extrémité libre de la tige, au lieu de décrire une circonférence concentrique à l'axe du volant, semble tourner autour de deux centres, alternativement, et s'arrête par instants : quand l'appareil a pris sa vitesse et tourne sans travailler, l'amplitude varie, alors qu'elle devrait rester constante. Dès qu'on manipule, l'amplitude change brusquement et non progressivement, comme cela a lieu dans l'appareil en bon état.

Ce dérangement peut se produire si : la tige vibrante n'est pas solidement encastrée dans les mâchoires. La tige est mal centrée. Le frein est mal réglé. Le ressort intérieur de la sphère est avachi et la laisse elle-même ballotter. Le volant est trop libre sur son axe et ne joue plus ainsi son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rôle de graduateur. La dernière spire de la tige vibrante touche par moments la console qui supporte les mâchoires d'encastrement. La tige du curseur est mal attachée à la sphère. L'extrémité libre de la tige vibrante touche à d'autres parties du frein qu'à l'anneau de la manivelle ou encore contre le rebord de la cuvette.

VARIATIONS DE VITESSE

Indépendamment des cas où la tige vibrante ballotte visiblement, des variations de vitesse, occasionnant des déraillements, peuvent encore se produire si : les spires de la tige du curseur serrent trop la tige vibrante; lorsqu'on agit sur la crémaillère pour modifier la vitesse, les spires du curseur ne peuvent glisser sur la tige vibrante et l'hélice de celle-ci se trouve refoulée ou étirée, ce qui amène un léger décentrage, susceptible toutefois de faire varier la vitesse. Le ressort intérieur de la boule est trop fort : il se produit le même effet que dans le cas précédent. La crémaillère est trop mobile et permet à la boule de se déplacer (ressort de la crémaillère trop faible). Les spires de la tige vibrante se touchent pendant le mouvement. Le frein est mal réglé. Le ressort porte-frotteur est trop bombé et vient frotter contre la cuvette (on voit alors un point brillant et plat à l'endroit où a lieu le frottement anormal). Le frotteur en étoupe est usé. La cuvette est malpropre ou insuffisamment huilée. L'évidement central du volant est trop grand et lui permet de se déplacer sur son assiette, dans le sens d'un diamètre, ce qui a pour effet de rejeter son centre de gravité hors du centre de rotation de l'axe. Le rochet de détente est excentré ou voilé.

Avec le régulateur Koch : le bouton de réglage est trop libre; la vis qu'il commande est mal solidaire de la rainure-came; les articulations des biellettes sont grippées; un ressort est faussé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RALENTISSEMENTS

Sous ce titre général, nous comprenons toutes les variations dont l'importance est telle, que l'opérateur peut les constater nettement, sans attendre qu'un déraillement vienne les lui dénoncer; nous supposons, dans tous les cas qui suivent, que l'appareil est convenablement huilé, le défaut de graissage pouvant toujours et en dehors de tout dérangement, amener le ralentissement de l'appareil.

Nous rappellerons, à ce propos, qu'un appareil en bon état d'entretien doit pouvoir dérouler, sans travailler bien entendu, avec un poids formé de deux rondelles, soit 20 kilos.

1° *L'appareil ne démarre pas ou démarre lentement.* — Le sabot du frein d'arrêt frotte contre le volant, même lorsque le levier est abaissé (ressort porte-sabot trop ouvert). Le frotteur du frein s'appuie, à l'état de repos, contre la cuvette cylindrique. La chaîne de Galle est grippée ou arrêtée quelque part. Les poulies-guides de la chaîne sont immobilisées par le cambouis. L'extrémité libre de la tige vibrante bute sur la face postérieure du frein. Le coussinet serre trop l'axe du volant. L'olive qui termine l'axe du volant grippe sur l'arbre des cames, qu'elle soutient à sa partie postérieure. L'axe du chariot n'est pas libre, par suite de trop grande tension du ressort de la crapaudine ou de l'élévation exagérée de la boîte à goujons. Les vis de la plaque de sûreté, ou la plaque elle-même, frottent sur la boîte à goujons. Un goujon soulevé cale la lèvre du chariot.

2° *L'appareil ralentit pendant la transmission.* — Les causes de mauvais démarrages énumérées ci-dessus peuvent entraver seulement la bonne marche de l'appareil, dans le cas où elles ne sont pas assez intenses pour avoir été remarquées au départ; si, après avoir retiré quatre rondelles, le déroulement est convenable avec les deux qui restent, on pourra laisser de côté ces vérifications et chercher la cause du ralentissement dans le travail excessif des pièces à mouvement périodique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil ralentira pendant le travail si : la tige du déclanchement automatique est trop courte (vis trop serrée) : le colimaçon commence à relever le levier de détente avant que la lèvre du chariot ait quitté le goujon et permette le relèvement du levier de transmission. Ou bien encore la tête du levier de détente vient, sous la traction de la tige, frotter contre l'arbre des cames. La chape mobile n'est pas libre sur ses vis-axes. Le ressort antagoniste du levier de transmission est trop tendu. La vis de prise de pile est placée trop bas et impose une flexion trop grande à l'extrémité du levier de transmission. Le manchon de l'axe du chariot coince ou grippe. Le ressort du levier de détente est trop fort. La vis de rappel est trop enfoncée et écrase l'armature lors du passage du colimaçon. Le ressort du cliquet de détente appuie trop fort. Le plan incliné est trop haut. La came correctrice est trop large (défaut d'ajustage) ou frotte pendant sa révolution contre la platine antérieure (défaut de placement). L'inversion est trop dure, par suite du manque de liberté des pièces ou de la tension exagérée du ressort du cliquet. L'axe commun aux leviers d'impression et de progression est trop haut. Les manchons de ceux-ci grippent ou frottent l'un contre l'autre. Le ressort en U du levier de progression est trop fort. La branche horizontale de la fourche du levier d'impression ne laisse aucun jeu lorsque la came et le levier sont bec à bec. Le ressort qui appuie sur la tête du levier d'impression est trop tendu. La pression de la fourchette sur le barillet est exagérée.

3° *L'appareil ralentit à la réception.* — Aux causes ci-dessus, sauf, bien entendu, celles qui concernent le chariot et le déclanchement automatique, il convient d'ajouter : la tension excessive des ressorts de l'armature, qui peut avoir pour causes principales : la trop grande force de l'aimantation, le manque de liberté de l'armature, coincée ou serrée sur ses vis-pivots ou encore la tension trop forte du ressort antagoniste du levier de détente, qui donne à l'armature une résistance d'autant plus grande à vaincre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le ralentissement à la réception peut encore provenir d'un trop grand appui du ressort bombé sur la roue de frottement ou d'une pression exagérée du ressort du cliquet d'entraînement : ces deux défauts rendent la correction plus laborieuse.

4° *L'appareil ralentit quand on rappelle au blanc.* — La rondelle qui, à l'extrémité de l'arbre de la roue des types, est maintenue par une vis et limite le déplacement d'arrière en avant des roues de correction et des types, doit s'appuyer contre le bout de l'axe, lorsque la vis est serrée à fond ; mais si l'assiette de la roue de frottement, remontée trop loin de la platine, ne permet pas un enfoncement suffisant des deux premières roues, l'extrémité du manchon dépasse à l'avant et c'est contre elle que la vis, bloquée, vient appuyer la rondelle : il s'ensuit, dès qu'on rappelle au blanc, un frottement considérable de la rondelle, qui continue à tourner, sur le manchon de la roue des types, d'où ralentissement.

Le même défaut peut provenir d'un grippage du manchon sur l'axe, par suite de manque de graissage. Ou encore de ce qu'une des vis du ressort bombé de la roue de frottement, s'étant desserrée, vient frotter contre la partie centrale circulaire du levier à deux branches placé derrière la roue de correction. La cause la plus fréquente est celle qui résulte du défaut d'huile entre le manchon et l'axe de la roue des types, aussi insistons-nous sur ce point, qu'on oublie souvent lorsqu'on procède au graissage.

DÉRAILLEMENTS

On dit qu'il y a déraillement, toutes les fois que, pour une cause quelconque, la came correctrice s'engage dans le creux qui précède ou qui suit celui dans lequel elle aurait dû passer : un écart d'une division (1 /28) est créé, de ce fait, entre les deux appareils correspondants et les signaux ultérieurement reçus impriment également les lettres précédentes ou suivantes : l'accord est rompu ; il faut interrom-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pre et faire reprendre la transmission au dernier mot correctement reçu.

Le déraillement peut donc avoir lieu dans le sens de la lettre précédente de l'ordre alphabétique, ou dans celui de la suivante : on distingue l'un de l'autre cas en disant que l'appareil déraille *en retard* ou *en avance* : il importe de bien établir la signification de ces deux mots qui, comme nous allons le voir, sont employés d'une façon purement conventionnelle.

On a pris pour points de repère exclusifs les déraillements qui résultent d'une différence de vitesse entre les deux appareils : si, pour un *d* transmis, on obtient l'impression d'un *c*, l'appareil récepteur ne tourne pas assez vite : il est *en retard* d'une division ; si, au contraire, pour la même lettre *d*, on reçoit un *e*, on tourne trop vite : on est *en avance*. Mais, si le déraillement est dû à une autre cause, par exemple à une variation dans le moment du soulèvement de l'armature, le *c* nous indiquerait une mise en action trop hâtive de l'arbre des cames ou une arrivée *en avance* de la came correctrice ; la lettre *e*, au contraire, proviendrait de ce que l'armature s'est soulevée *en retard*. Il y aurait donc confusion constante entre les deux expressions, suivant qu'on attribuerait le déraillement à un écart dans la vitesse ou à un fonctionnement anormal de l'appareil. Or, dans la majorité des cas, on constate le déraillement, sans pouvoir définir, *a priori*, à laquelle des deux causes possibles il est imputable. On a donc établi cette convention que tout déraillement serait qualifié comme s'il résultait exclusivement *d'une question de vitesse* : quand on recevra un *e* pour un *d*, un *n* pour un *m*, etc., c'est-à-dire les lettres suivantes, on dira qu'on déraille en avance ; inversement, la réception des lettres précédentes, *c* pour *d*, *l* pour *m*, etc., constituera un déraillement en retard.

DÉRAILLEMENT EN AVANCE

Les déraillements en avance ou sur les lettres suivan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tes peuvent provenir du ballottement de la tige ou de variations de vitesse; ces deux défauts peuvent évidemment déterminer également des déraillements en retard : on n'en doit pas moins procéder rapidement aux deux postes, à la vérification des points qui peuvent les produire : le transmetteur examinera en outre les différentes causes de ralentissement que nous avons mentionnées (il est bien entendu que l'on a procédé, au préalable, à la revision du réglage ordinaire de l'appareil : synchronisme et électro-aimant).

1° *Vérification de l'appareil récepteur*. — Voir si : la tige ballotte; des causes de variations de vitesse existent. Le volant n'est pas assez libre sur son assiette. Le rochet de détente est dessoudé. Les dents du cliquet ou du rochet de détente sont émoussées. Par suite de jeu sur son axe, le cliquet de détente ne présente pas ses dents parallèlement à celles du rochet. La face de gauche du plan incliné présente des stries, qui retardent la chute du cliquet de détente. La roue de frottement n'est pas assez libre sur son assiette : la roue correctrice, en avance, entraîne la came avec elle, le cliquet de détente glisse sur le rochet et la roue correctrice n'est pas retardée. La roue de frottement est trop libre et la correction vers l'avance est trop grande. Le ressort en U du levier de progression est trop faible. Le ressort antagoniste du levier de détente est trop tendu. L'armature est trop serrée sur ses vis-pivots. Le contact des ressorts de la came correctrice est sale. L'appui du levier de transmission au repos est mal assuré. Les fiches du commutateur rond sont malpropres ou desserrées. Les fils de ligne et de terre ne sont pas serrés dans les trous de leurs bornes.

2° *Vérification de l'appareil transmetteur*. — Le transmetteur pourra être mis en cause si dans son appareil la tige ballotte; la vitesse varie; les combinaisons font ralentir le mouvement; les bornes de pile et de ligne sont desserrées; la prise de pile est mal assurée. Et, dans le cas où le déraillement se produirait toujours après la même lettre : si le goujon correspondant, saisi par la plaque de sûreté, s'affaisse, par suite d'usure, et ne provoque qu'une émission

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

imparfaitement assurée. Le même défaut peut provenir de l'usure de la fenêtre de la boite à goujons.

DÉRAILLEMENTS EN RETARD

1° *Appareil récepteur.* — La tige ballotte. La vitesse varie. L'appareil ralentit. Le volant est trop libre. La roue de frottement est trop libre et glisse sur son assiette, ou bien la correction vers le retard est exagérée. Le ressort du cliquet de la roue correctrice est trop fort et celui du cliquet de détente trop faible : la correction dans le sens de l'avance ne peut se faire. L'inversion est trop dure.

2° *Appareil transmetteur.* — Les déraillements en retard ne pourront guère incomber au poste transmetteur que dans les cas de ballottement de la tige ou de variations de vitesse dans le sens de l'avance; on examinera, en outre, soigneusement, le mécanisme de transmission, pour découvrir, le cas échéant, une cause de variation dans le moment de l'envoi des courants.

L'APPAREIL PART DU Z

Ce défaut ne peut provenir que de l'appareil sur lequel il se manifeste; la première émission fait toujours partir la roue des types du blanc des lettres, à moins d'une position tout à fait anormale au repos; mais la seconde, envoyée par le même goujon, peut donner lieu à l'impression de la lettre Z si : les dents du cliquet et du rochet de détente sont émoussées et la pression du ressort courbe insuffisante; les dents des deux pièces ne se présentent pas parallèlement, par suite de coincement du cliquet sur son axe; le volant est trop libre sur son assiette. Ces défauts peuvent encore être accentués par un mauvais état du plan incliné de rappel au blanc ou du doigt du cliquet, s'ils présentent des rugosités.

Toutefois, sur les lignes souterraines, le départ Z peut provenir de la grande capacité du conducteur (voir *Réglage sur les lignes souterraines*).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

REMONTAGE DÉFECTUEUX

Si la pédale, abaissée sous la pression du pied, ne revient pas à sa position de repos, la roue est grippée ou le ressort à boudin trop faible; si le poids n'est pas remonté, le cliquet d'entraînement est grippé ou usé, ou bien son ressort est trop faible; si le poids redescend quand la pédale est abandonnée, le ressort du cliquet de retenue est insuffisant.

Si le remontoir électrique ne fonctionne pas, retirer la courroie, pour voir si le moteur tourne à vide; si oui, un des axes du remontoir est grippé; si non, un balai du moteur est usé, l'interrupteur est oxydé par les étincelles répétées ou le fil de plomb préservateur est brûlé.

Il arrive parfois qu'un fil de bobine se brûle ou se rompt : si les vérifications ci-dessus n'amènent aucun résultat, on installe le moteur douteux à la place d'un autre qui fonctionne normalement; on définit, ainsi, si le moteur est à renvoyer à l'atelier.

DÉRANGEMENTS ÉLECTRIQUES

Vérification générale. — En cas de non-réponse du correspondant, on vérifiera rapidement les communications extérieures de l'appareil, on s'assurera que les fils, aboutissant aux trois bornes de la table, sont bien serrés; que la pile parvient bien jusqu'à la borne P, que le paratonnerre est en bon état; on pourra vérifier d'un seul coup le paratonnerre et la pile, en réunissant, à l'aide d'une clef, d'un tourne-vis, etc., la borne de gauche du paratonnerre, et celle de la sonnerie, puis, l'appareil déroulant, on appuiera sur une touche : on devra recevoir dans la sonnerie, l'émission ainsi provoquée; le courant venant de la pile est allé de la vis butée supérieure dans le levier de transmission, puis à la borne de ligne de l'appareil, ensuite il a traversé la fiche du commutateur, le galvanomètre, le paratonnerre, pour venir, à la sortie de ce dernier, se bifurquer, partie sur la ligne, comme à l'ordinaire, partie dans la sonnerie, par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la communication provisoire établie entre ces deux points.

Dans le cas où la sonnerie ne fonctionnerait pas, il faudrait définir si c'est la pile qui manque ou le paratonnerre qui est brûlé : il suffirait de placer la fiche du commutateur entre les bornes Hughes et la sonnerie, et d'appuyer, de nouveau, sur une touche; si la sonnerie fonctionne, c'est le paratonnerre qui est en cause, et inversement.

Dans le cas où le commutateur est une boîte d'entrée de poste Blanchon, on vérifie en plaçant une seconde fiche dans le conjoncteur de sonnerie, la première restant dans celui de l'appareil : les émissions doivent actionner la sonnerie.

Cette vérification rapidement faite, on est certain que les appels se rendent bien sur la ligne; elle est importante, surtout dans les postes où il est fait usage d'accumulateurs : ceux-ci sont protégés, nous l'avons dit, par un fil fusible; la « souris », comme on l'appelle couramment, peut avoir été brûlée ou s'être rompue, sans que l'employé s'en soit aperçu et celui-ci appellerait dans le vide. C'est pour éviter la conflagration possible de la souris que nous conseillons de faire l'essai en abaissant une touche, c'est-à-dire en envoyant une émission brève; dans les postes pourvus de piles, on pourrait, sans inconvénient, soulever, avec le doigt, le levier de transmission.

Lorsqu'on sera certain du bon envoi des appels, on sensibilisera l'électro-aimant et on mettra, de temps en temps, la ligne sur sonnerie, pour entendre, le cas échéant, les réponses que l'appareil, défectueux, pourrait ne pas enregistrer.

Si ce fait se produit, on pensera, tout d'abord, que, pour une cause quelconque, le correspondant peut avoir substitué à la pile dont il se servait précédemment une autre pile de pôle contraire et on inversera les fiches du commutateur rond : si, dans cette nouvelle position, le courant de la ligne, capable d'actionner la sonnerie, ne fait pas fonctionner l'appareil, on est en présence d'un dérangement électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un dérangement électrique se localise, dans un appareil, de la même façon que sur un fil de ligne : que fait-on, en effet, lorsqu'un fil Paris-Marseille est reconnu défectueux? On prie d'abord Lyon de rentrer : celui-ci appelle successivement les deux postes extrêmes, communique bien avec l'un, mal ou pas du tout avec l'autre; il en conclut que le défaut gît entre ce dernier, Marseille, par exemple, et Lyon; toute la section Paris-Lyon est du coup reconnue bonne. Lyon, à son tour, prie Avignon de rentrer, et ainsi de suite; le dérangement se trouve bientôt localisé sur une longueur minime, eu égard au parcours total du conducteur: il ne reste plus qu'à examiner minutieusement la section où se trouve le défaut, pour le découvrir et le réparer.

On relèvera, d'après la même méthode, tous les dérangements qui pourront se produire dans l'appareil, à une condition, toutefois, qui s'applique également au cas d'un fil de ligne : c'est de connaître exactement l'itinéraire du conducteur, c'est-à-dire, dans l'espèce, l'agencement des communications électriques de l'appareil.

Reprenons le cas que nous avons supposé plus haut : des signaux sont perçus dans la sonnerie, mais pas dans l'appareil; on sensibilise et on inverse sans succès les pôles : chaque fois qu'on remet sur sonnerie, les appels, de nouveau, se font entendre. La ligne est hors de cause, jusques et y compris le paratonnerre : le défaut est dans l'appareil. Afin de définir exactement la nature de celui-ci, on envoie, du tableau des lignes ou de la rosace, un courant prolongé, par l'amorce de l'appareil, après avoir eu soin d'observer la position des fiches du commutateur rond (on choisira la pile ou, le cas échéant, on placera les fiches de telle sorte que le courant, s'il arrivait jusqu'à l'électro-aimant, pour se rendre ensuite à la terre, soulèverait l'armature) si celle-ci reste au repos, on peut, en observant l'aiguille du galvanomètre, à la table d'essai, savoir auquel des deux défauts possibles, isolement ou perte à la terre, on se trouve avoir affaire : si l'aiguille reste immobile, il y a interruption du circuit; si, au contraire, elle dévie fortement, le courant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trouve une issue à la terre avant d'atteindre l'électro-aimant.

La méthode pour trouver l'un ou l'autre est sensiblement la même, ainsi que nous allons le voir.

1° *Recherche d'un isolement.* — On pourra rapidement localiser un isolement de la façon suivante : on détachera les fils de ligne et de pile des bornes d'entrée, on isolera le premier et on attachera le second à la borne-ligne; si les fiches du commutateur rond sont bien dans la position qui convient, on devrait voir l'armature se soulever, comme si le courant venait de la ligne; quoi qu'il en soit, le circuit que parcourt habituellement le courant, à l'arrivée, se trouve relié à une pile et on va pouvoir, d'étape en étape, atteindre le point à partir duquel la pile ne se trouve plus.

On prendra un fil volant, on l'attachera à la borne d'entrée d'une sonnerie dont la sortie est à la terre, et, avec l'extrémité opposée du fil volant, on touchera, par exemple, le levier de transmission : la sonnerie doit fonctionner, sinon le défaut se trouve entre la borne de ligne et le levier de transmission. Pour plus de sûreté, d'ailleurs, on s'assurera que la sonnerie est actionnée lorsqu'on touche la borne L.

Si l'essai au levier de transmission a bien fait fonctionner la sonnerie, on poursuit les recherches, en touchant successivement : la vis de repos du dit levier, le ressort inférieur de la came correctrice, puis le ressort supérieur, le commutateur rond et enfin la borne d'entrée de l'électro-aimant : si, à l'un de ces points, on ne fait pas sonner, le défaut se trouve sûrement entre ce point et celui précédemment touché; il ne reste qu'à examiner soigneusement la section du circuit comprise entre eux.

Si aucun des points touchés n'a révélé une rupture, le circuit est bon depuis l'entrée de l'appareil jusqu'à l'électro-aimant : le défaut ne peut exister que dans ce dernier ou entre sa sortie et la terre : on définira, de la même façon, le point exact; il est à remarquer, toutefois, qu'à partir du moment où on intercalera dans le circuit d'essai la résistance de l'électro-aimant (1.200 ohms), la sonnerie ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fonctionnera que si l'on dispose d'une pile suffisamment énergique; mais on pourra se baser sur le soulèvement de l'armature, au cas où la rupture existerait du côté de la terre; on pourra, si l'on préfère, détacher le fil de terre, le remplacer à la borne T par le fil de pile et recommencer l'essai par le bout opposé, depuis la dite borne jusqu'à la sortie de la bobine nº 2, en passant par le commutateur rond. Si les deux parties du circuit sont reconnues bonnes, c'est évidemment l'électro-aimant qui est défectueux.

2º *Recherche d'une dérivation à la terre.* — La méthode pour localiser une perte à la terre diffère peu de la précédente : on suivra de même le circuit, étape par étape, mais on isolera, avant chaque essai, la partie située au delà du point sur lequel on opère; en outre, afin de ne pas laisser la pile en court-circuit pendant trop longtemps (ce qui, dans les postes pourvus d'accumulateurs, amènerait infailliblement la fusion du fil préservateur), on pourra effectuer les recherches de la façon suivante : on prendra, de même, une sonnerie et l'on attachera, à l'une des bornes, le fil de la pile, à l'autre un fil volant; puis, après avoir mis un bout de bande entre la vis inférieure de butée et le levier de transmission, on touchera ce dernier avec le bout dénudé du fil volant : la sonnerie restera muette, à moins qu'une terre anormale ne se trouve entre le levier et la borne ligne. Si cette section est reconnue indemne de perte, on retirera le bout de papier, qui isole le levier de transmission du reste du circuit et on l'intercalera entre les deux ressorts de la came correctrice, on touchera de nouveau avec le fil volant, et ainsi de suite : dès que la sonnerie fonctionnera, on sera averti qu'on vient de dépasser le défaut et que la perte cherchée se trouve entre le dernier point isolé et le précédent.

On n'aura pas, dans ce cas, à dépasser l'électro-aimant, car si une terre, même anormale, se trouvait au delà, elle n'apporterait aucune gêne au fonctionnement de l'électro-aimant, aussi longtemps, tout au moins, qu'on n'aurait pas à inverser les pôles au commutateur rond. Mais la terre peut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouver dans l'électro-aimant lui-même : il est possible, en effet, que le fil d'une des bobines se dénude et vienne toucher métalliquement le noyau : on conçoit que, dans ces conditions, si l'armature est en communication avec la terre, il suffit que le papier qui recouvre les pièces polaires soit percé et permette le contact direct entre l'armature et les pièces, pour qu'une dérivation s'établisse. Le courant, dans ce cas, ne parcourt que les spires comprises entre l'entrée et le point dénudé; si celui-ci est très près de l'entrée, le défaut aura toutes les apparences d'une terre directe; s'il en est assez éloigné, s'il existe, par exemple, dans la seconde bobine, le courant pourra quand même actionner l'armature, mais on aura un fonctionnement bien plus précaire.

Si le même défaut affectait un appareil du Poste Central de Paris, le courant, venant de la ligne, arriverait directement, par l'armature, au point dénudé et, de là, parcourrait tout le reste de l'électro-aimant pour gagner la terre. Cette possibilité de dérangement montre, une fois de plus, l'intérêt qu'il y a à changer le papier de l'électro-aimant, dès qu'il n'est plus en parfait état, et s'ajoute aux considérations que nous avons signalées en leur temps, concernant cette partie de l'entretien de l'appareil.

Si, au lieu d'un point dénudé touchant au massif, il y en avait deux, il ne serait pas nécessaire que le papier fût percé pour que le défaut existât : le courant, arrivant au premier, passerait par le faisceau pour regagner le second, évitant ainsi toute la longueur de fil comprise entre ces deux points. La manifestation du dérangement dépendrait, comme dans le cas précédent, du nombre de spires qui se trouveraient ainsi annulées.

Pour découvrir ce genre de dérangement, les communications étant placées comme pour la recherche d'une dérivation, il suffit de toucher, avec le fil volant, l'une des pièces polaires, l'armature étant préalablement soulevée : si la sonnerie fonctionne, c'est que le circuit communique avec le massif. Il serait avantageux, toutefois, de substi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tuer à la sonnerie un galvanomètre, qui accuserait plus sûrement toute dérivation, quelque minime qu'elle fût. On pourra aussi mesurer la résistance de l'électro-aimant, le faisceau magnétique étant mis à la terre : on ne trouvera que la résistance de la partie du circuit comprise entre l'entrée et le défaut, le courant passant, par celui-ci, directement à la terre, sans parcourir le reste de l'électro-aimant.

Le défaut ainsi reconnu, on déterminera dans laquelle des deux bobines il se trouve, en séparant les fils qui réunissent l'entrée de l'une à la sortie de l'autre, puis on recommencera l'expérience sur chacune d'elles séparément : il restera ensuite à dérouler celle qui convient jusqu'à ce qu'on ait trouvé le point dénudé; on isolera celui-ci avec un bout de bande de papier, plié en deux dans le sens de la longueur et dans le pli duquel on placera le fil, puis on enroulera de nouveau. Il sera prudent, toutefois, avant de refaire le bobinage, d'essayer le circuit, comme précédemment, afin de s'assurer qu'aucune autre dérivation n'existe plus loin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE

Lignes souterraines et relais translateurs.

XX

LIGNES SOUTERRAINES

Origines du réseau souterrain. — Le réseau aérien, à côté des grands et incontestables avantages qu'il présente, notamment au point de vue de la facilité et du prix de revient relativement peu élevé de sa construction, offre toutefois le grave inconvénient d'être exposé à l'influence des orages et aux intempéries de toutes sortes; il ne se passe guère d'année sans que, sur un point ou sur un autre du territoire, des lignes de poteaux soient renversées par des bourrasques, quelquefois sur des longueurs assez considérables; en 1875 et en 1879, notamment, à la suite de tempêtes ou de verglas, Paris fut, pendant plusieurs jours, privé de communications avec la plupart des grandes villes de France. Indépendamment du préjudice qu'un semblable état de choses cause toujours au public, on conçoit les terribles conséquences qu'il pourrait avoir s'il se produisait au moment d'une guerre, en pleine mobilisation. C'est surtout pour répondre à ces graves préoccupations que fut décidée, vers 1879, la construction du réseau souterrain actuel, à l'exemple des Allemands qui, depuis quelque temps déjà, avaient relié de la sorte Berlin aux principales villes de l'empire.

Les lignes souterraines ont eu beaucoup de détrac-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teurs: on leur a reproché, entre autres choses, leur prix d'établissement beaucoup plus élevé que celui des lignes aériennes. M. Massin, dans son *Cours de construction* à l'Ecole professionnelle supérieure, répond ainsi à cette critique :

« On a objecté que la construction des lignes souterraines françaises avait coûté près de 36 millions. C'est un joli denier, il est vrai, mais n'affecte-t-on pas des sommes beaucoup plus considérables à des travaux publics, tels que des canaux, qui n'ont pas cette importance? D'ailleurs, ces 36 millions sont loin de constituer un capital improductif, puisque ces lignes fonctionnent actuellement et qu'elles sont venues décharger les lignes aériennes. Si les lignes souterraines coûtent cher à établir, il n'en est pas de même pour l'entretien : les crédits inscrits chaque année au budget sont faibles.

« On a dit également que ces lignes ne dureraient pas. L'expérience a prouvé le contraire : la plupart d'entre elles, mises en service en 1880, ont résisté dans d'excellentes conditions et n'ont pas subi de réparations d'ensemble, sauf les lignes en câble armé ou en conduite de ciment. »

On a fait aux lignes souterraines un reproche beaucoup plus grave, à notre avis : leur grande capacité, les phénomènes d'induction électro-statique et électro-dynamique dont elles sont le siège, apportent une gêne très appréciable à l'échange des correspondances, notamment lorsqu'il est fait emploi des appareils à transmission rapide, Hughes, Baudot, etc. L'objet de cette étude est précisément d'exposer les différents moyens qui ont été employés pour réduire au minimum ces inconvénients et arriver à une exploitation rationnelle d'un réseau dont les avantages sont incontestables.

Constitution d'une ligne souterraine. — Nous puisons dans le *Cours de construction* précité les renseignements suivants sur la constitution des lignes souterraines :

Le conducteur d'une ligne souterraine consiste en un toron de 7 fils de cuivre. Ce métal était tout indiqué, en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

raison de sa grande conductibilité; il est peu tenace, il est vrai, mais un conducteur souterrain n'a jamais à subir de très grands efforts de traction. Son prix élevé ne pouvait pas non plus le faire exclure, attendu que le coût du conducteur intervient pour une faible part dans le montant des dépenses qu'entraîne la construction d'une ligne souterraine. Le toron est préférable au brin unique, qui présente toujours, par suite d'impuretés ou de manque d'homogénéité, des chances de rupture : si un brin élémentaire d'un toron vient à se rompre en un point, il y a beaucoup de probabilités pour que les autres, en ce même point, restent intacts pour assurer la communication. L'âme conductrice est recouverte d'une enveloppe isolante formée, suivant la grosseur du fil, de deux ou de trois couches de gutta-percha, alternées avec un nombre égal de composition Chatterton (trois parties de gutta-percha, une de résine et une de goudron de Stockholm).

Les trois types principaux de conducteurs, employés pour les lignes souterraines à grandes distances, sont désignés sous les noms de :

Type M ou moyen;
Type G ou gros;
Type GG ou très gros.

Le tableau ci-dessous donne les spécifications de ces âmes :

Types	Diamètre des brins élémentaires (7 brins dans le toron)	Diamètre des âmes sous gutta		Isolement (en mégohms)	Capacité maxima par kilomètre (en microfss)	Résistance kilométrique maxima (en ohms)
M	$0^{m}{}_{m}6$	$5^{m}{}_{m}$	deux couches de gutta	500 à 2500	0,24	9,10
G	$0^{m}{}_{m}75$	$6^{m}{}_{m}4$	trois couches de gutta	600 à 2500	0,24	5,63
GG	$0^{m}{}_{m}87$	$7^{m}{}_{m}5$	trois couches de gutta	600 à 2500	0,24	4,33

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deux ou plusieurs âmes peuvent être réunies pour former un câble.

Si l'on veut faire un câble à un seul conducteur, on entoure l'âme d'un petit matelas de fil de jute, puis on recouvre le tout d'un ruban tanné. Lorsqu'on veut avoir un câble à plusieurs conducteurs, on recouvre, comme précédemment, les âmes de fil de jute et on les câble ensemble, puis on revêt de filin et enfin de ruban tanné.

Si le câble doit être mis en égout, on l'introduit dans un tube en plomb. S'il est destiné à être placé directement dans le sol, une protection plus efficace est nécessaire : on constitue alors autour de l'âme une sorte de gaine, au moyen de fils de fer disposés en hélice et serrés les uns contre les autres; on protège ensuite la gaine en enroulant en sens inverse deux bandes de toile imprégnées d'une substance agglutinante. On a alors un « câble armé ».

Dans la plupart des cas, un certain nombre de câbles suivant le même itinéraire, on les enferme dans un tuyau de fonte, formé de bouts d'une longueur variant entre 2 mètres et $2^{m}55$ et d'un diamètre intérieur de 40 à $70^{m/m}$, suivant le nombre de câbles qu'on peut y placer. Les bouts sont emboîtés les uns dans les autres, de manière à assurer à la conduite une étanchéité aussi parfaite que possible : on admet, dans les conduites d'eau et de gaz, une perte moyenne de 1 à 2 0 /0 ; une perte de 1 /100.000, qui serait un résultat merveilleux pour ces fluides, entraînerait des inconvénients sérieux pour des conduites de câbles souterrains : l'entrée de l'eau dans les dites conduites, quelque lentement qu'elle s'accomplisse, finit toujours par détériorer le câble et établir une communication entre les conducteurs et le sol. On a donc cherché à l'éviter grâce à des joints soigneusement faits et à une vérification également minutieuse à l'aide de pompes comprimant l'air à une pression de deux atmosphères.

Le tuyau est enfoui dans une tranchée creusée de $1^{m}20$: on a constaté qu'à cette profondeur, la température est sensiblement constante, ce qui est une condition très avan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tageuse pour la conservation de la gutta-percha. Tous les 500 mètres est placée une « chambre de raccordement », sorte de grande marmite métallique, cylindrique, plate, fermée au moyen d'un couvercle légèrement bombé et retenu par des boulons; le diamètre est de 0^m55 et la hauteur de 0^m35. L'étanchéité est assurée au moyen d'une couronne de plomb, revêtue de mastic serbat ou de mastic au minium; on place cette couronne entre la partie supérieure de la chambre qui forme le rebord et le couvercle; on serre ensuite les boulons. Ces chambres de raccordement servent, lors de le construction, à exécuter les soudures entre les différents bouts de câbles et ultérieurement aux vérifications et recherches en cas de défaut.

Enfin, des « chambres de coupure » sont installées à 80 kilomètres les unes des autres, environ, et ordinairement dans les bureaux télégraphiques. Les fils y aboutissent à une rosace comportant un certain nombre de bornes à contre-écrou; la communication directe entre les deux côtés d'un même conducteur est établie par un fil volant muni, à chacune de ses extrémités, d'une griffe qu'on serre sous une borne exactement comme, dans les postes, le renvoi des lignes sur les différents appareils. On peut ainsi facilement, en cas de défaut à localiser, « rentrer » sur le conducteur qui convient.

On utilise, dans les chambres de coupure comme dans les postes, des terres spéciales pour les lignes souterraines; celles-ci sont prises, à une certaine distance de la terre aérienne, sur les conduites mêmes ou sur les armatures des câbles armés, au moyen d'un toron de fil de cuivre; ce toron est amené sur un joint de la conduite, autour duquel il est enroulé plusieurs fois et il est noyé dans le plomb. Il faut éviter, autant que possible, le mélange des terres aérienne et souterraine. En effet, si des conducteurs aériens viennent puiser la terre dans celle des fils souterrains, ou inversement, toute décharge atmosphérique, se rendant dans le sol par les aériens, pourra détériorer les câbles : il faut nettement établir la séparation des deux terres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le plan général, conçu lors de la création du réseau souterrain, comportait la mise en communication de Paris avec toutes les grandes villes de France et d'un certain nombre de celles-ci entre elles. Il est loin d'être, à l'heure actuelle, tout à fait terminé : seul, le réseau de l'Est est à peu près complet; celui du Nord ne l'est que jusqu'à Beauvais, celui du Sud-Ouest que jusqu'à Juvisy, etc. Bon nombre de lignes projetées n'ont pas été commencées.

Pour terminer ce rapide exposé, voici quelques indications sur la composition des différents câbles employés sur les lignes à grandes distances :

Le type GG a été utilisé pour les lignes en ciment et aéro-souterraines de Lyon à Grenoble, Gap, La Palisse, etc., ainsi que pour les amorces des câbles de Marseille à Alger.

Les trois types, M, G, GG, sont combinés pour former divers câbles :

1° *Câble* 1 *M*. Le câble à un conducteur, type M, est simplement recouvert d'un tube de plomb ou protégé par une armature constituée par 10 fils de fer galvanisé de 4 millimètres;

2° *Câble* 2 *M*. Le câble à deux conducteurs, type M, est toujours recouvert d'une armature de 13 fils de fer galvanisé de 4 millimètres.

3° *Câble* 2 *M* 1 *G*. Le câble formé de deux conducteurs M et d'un conducteur G est le plus employé. Les deux plus petits, c'est-à-dire les deux M, desservent des localités peu distantes l'une de l'autre. Quant au conducteur G, il relie deux centres de dépôt plus éloignés. Ce mode de groupement offre de réels avantages : on a remarqué, en effet, que deux grands fils appartenant à des câbles différents s'induisent moins que s'ils étaient juxtaposés dans le même câble; on évite donc de câbler ensemble deux fils qui ont à suivre le même parcours sur une grande distance. Le câble 2 M 1 G pèse, par 505 mètres, 86 kilogrammes sous ruban tanné et 1.285 kilogrammes quand il est armé. Cette armature est composée de 15 fils de fer galvanisé de 4 millimètres. Il est quelquefois recouvert d'une deuxième armature; dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce cas, la première comporte 18 fils de fer de 3 millimètres et la seconde 18 fils de fer de 5 millimètres; l'enroulement des armatures se fait en sens inverse l'une de l'autre. Le câble est alors extrêmement lourd : 2.500 kilogrammes par 505 mètres.

4° *Câble* 2 M 1 *GG*. Le câble à trois conducteurs 2 M 1 GG, que l'on protège également par une armature en fer, est un modèle généralement employé pour franchir certains passages particuliers où il n'est pas possible de placer des conduites; par exemple, lorsqu'on est contraint d'immerger les conducteurs pour franchir une rivière. Un certain nombre de lignes à très grande distance avaient été projetées avec ce type de câble, mais elles ne sont pas encore achevées.

EXPLOITATION DES LIGNES SOUTERRAINES

Condensateur. — Nous avons exposé (v. p. 60) les conditions dans lesquelles s'effectue la propagation des courants sur les fils aériens; nous avons vu que, parmi les facteurs nombreux qui concourent à retarder l'arrivée du fluide électrique à l'extrémité opposée à la source, il faut comprendre la *capacité* du conducteur. Or, la charge que peut prendre un conducteur, toutes choses égales d'ailleurs, dépend essentiellement du milieu dans lequel il se trouve. Un fil télégraphique constitue, en effet, l'armature intérieure d'un condensateur, dont l'autre armature est représentée par les fils voisins et la terre; enfin, le « diélectrique », c'est-à-dire la substance isolante qui sépare les deux armatures, est l'atmosphère pour les fils aériens, l'enveloppe de gutta-percha pour les souterrains. Nous allons voir que, si les phénomènes sont de même ordre, leur intensité diffère essentiellement, suivant qu'ils se passent sur l'un ou sur l'autre de ces deux genres de conducteurs.

Rappelons brièvement en quoi consiste un condensateur :

Un corps électrisé donne naissance à un « champ électrostatique », exactement comme un corps aimanté engendre un « champ magnétique » (v. p. 45). On appelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

champ électrostatique l'espace qui entoure le corps électrisé et dans lequel se manifestent les effets dus à l'électricité répandue sur le corps. En théorie, le champ électrostatique, comme le champ magnétique, est infini; mais en pratique, l'un comme l'autre se trouve limité à l'espace relativement restreint dans lequel les instruments dont nous disposons sont susceptibles de nous révéler son influence.

Si l'on place dans un champ électrostatique un conducteur à l'état neutre, cet état est troublé et l'on voit se produire le phénomène appelé *induction électrostatique* : le corps s'électrise, présentant une zone positive et une zone négative, séparées par une zone neutre. Le corps qui produit le champ électrostatique s'appelle l'inducteur : le corps influencé, l'induit. On admet que le fluide neutre du corps influencé se trouve décomposé en ses deux parties constitutives : électricités positive et négative; le corps inducteur attire l'électricité de nom contraire à la sienne et repousse celle de même nom. Soient, par exemple, deux plateaux A et B (fig. 212); si nous mettons A en communication avec une source quelconque d'électricité positive, il se chargera et influencera B, dont le fluide neutre sera décomposé : la face tournée vers A sera chargée d'électricité négative et l'autre d'électricité positive. Cette division de B en deux parties, occupées chacune par l'un des deux fluides, se produira dans tous les cas, si mince que puisse être B et quand même il se réduirait à l'épaisseur d'une feuille d'or. Si maintenant nous mettons A en communication avec la terre, il va se décharger et, son influence sur B disparaissant, les deux fluides de ce dernier vont se recombiner et toute trace d'électrisation disparaîtra en même temps.

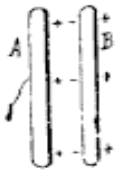


Fig. 212.

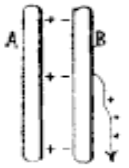


Fig. 213.

Rechargeons A et mettons B en communication avec la terre : l'influence électrostatique se produira comme précédemment, mais l'électricité positive de B se déchargera dans le sol, tandis que la face tournée vers A restera chargée négativement (fig. 213), l'action de celui-ci empê-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chant le retour de B à l'état neutre. Mais l'influence des deux plateaux est réciproque, et, si nous isolons B et relions A avec la terre (fig. 214), nous ne pourrons décharger A de son électricité positive, qui sera retenue par l'attraction de la charge négative de B. Pour ramener les deux plateaux à l'état neutre, il faudra, ou bien les relier directement par un corps conducteur, ou bien les mettre tous les deux à la fois en communication avec la terre. Si les deux plateaux chargés sont éloignés l'un de l'autre, leurs actions réciproques diminuent progressivement, jusqu'à devenir bientôt nulles : les deux plateaux peuvent alors être déchargés indépendamment l'un de l'autre, ce qui, précédemment n'était pas possible.

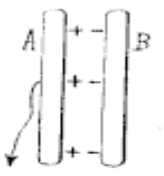


Fig. 214.

L'ensemble des deux plateaux A et B, isolés par une couche d'air sec, constitue un condensateur, c'est-à-dire un système capable de *condenser* ou *d'accumuler* une quantité d'électricité plus grande que celle qu'ils pourraient recevoir si l'effet d'induction ne se produisait pas ; le mécanisme de la charge peut se décomposer ainsi : lorsqu'on met le plateau A en communication avec la source électrique, il se charge d'une certaine quantité, en prenant le potentiel de celle-ci, mais son action s'exerce aussitôt sur B, qui, par réciprocité, attire sur la face de A qu'il regarde la plus grande partie de l'électricité de celui-ci : le potentiel, du côté opposé de A, est donc maintenant plus faible que celui de la source ; une nouvelle quantité d'électricité sera fournie par celle-ci et décomposera une portion du fluide neutre de B ; la partie positive de cette nouvelle charge de B passera dans le sol, tandis que la partie négative augmentera l'action sur A, et ainsi de suite ; ces charges complémentaires successives se continueront ju qu'à ce que A soit chargé au même potentiel que la source. On voit donc que la possibilité donnée à A d'exercer une action inductrice sur B a eu pour résultat d'*augmenter la capacité de A*.

Un condensateur peut être constitué avec une bouteille dont les parois extérieure et intérieure sont recouvertes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une feuille d'étain ou de tout autre métal : c'est ainsi qu'est construite la bouteille de Leyde; l'armature intérieure (constituée souvent par des feuilles de clinquant remplissant en partie la bouteille, et dans lesquelles plonge une tige métallique traversant le bouchon) correspond au plateau A, l'autre, au plateau B : on l'appelle armature extérieure. D'une façon plus générale, on peut employer à la construction d'un condensateur des feuilles métalliques séparées par une substance isolante quelconque, mica, paraffine, etc. : plus celle-ci est mince, plus l'action inductive est grande.

Diélectrique. — On appelle « diélectrique » d'un condensateur le corps isolant qui sépare les deux armatures. Dans l'exemple des deux plateaux, que nous avons donné plus haut, le diélectrique est la couche d'air sec interposée entre A et B; dans la bouteille de Leyde, c'est le verre, auquel adhérent les deux feuilles métalliques. Lorsqu'on produit l'induction à travers un diélectrique, celui-ci se comporte comme un conducteur : il présente une face positive et une face négative; on ne sait pas au juste ce qui se passe à l'intérieur, mais son état moléculaire est modifié, son élasticité également.

La nature du diélectrique joue un rôle très important dans les phénomènes d'induction électrostatique, qui se manifestent par l'action d'une armature sur l'autre : par exemple, si entre nos deux plateaux A et B, nous avions intercalé une lame de verre, au lieu de la couche d'air qui les séparait, nous aurions constaté des effets d'induction beaucoup plus intenses (c'est ainsi qu'est construit le condensateur d'Oepinus); avec de la paraffine au lieu de verre, l'action eût été encore augmentée. Chaque substance isolante ou diélectrique a donc une propriété particulière, qui s'appelle sa *capacité inductive spécifique* : de même que les différents corps dits conducteurs de l'électricité opposent à son passage une résistance plus ou moins grande, de même les corps diélectriques offrent à l'induction une résistance, propre à chacun d'eux, et qui est l'inverse de leur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

capacité inductive spécifique. Le coefficient, qui exprime la valeur de cette dernière, est établi par comparaison avec l'air sec, pris pour unité; nous trouvons pour le verre 1,90, pour la paraffine, 1,98, pour la gutta-percha, 4, 20, etc.; cela indique qu'un condensateur qui, avec l'air pour diélectrique, emmagasine une quantité déterminée d'électricité, en absorberait 1,90 fois, 1,98 fois, 4,20 fois plus si, toutes choses égales d'ailleurs, son diélectrique était constitué respectivement par du verre, de la paraffine ou de la gutta-percha.

Capacité d'un condensateur. — En résumé, de tout ce qui précède, il résulte que la capacité d'un condensateur dépend de l'étendue des surfaces qui reçoivent l'effet d'induction, de leur distance et de la capacité inductive spécifique du diélectrique. Celui-ci peut, dans une certaine mesure, être comparé à un corps plus ou moins spongieux, qui absorbe l'électricité, pour ainsi dire, très vite d'abord et ensuite plus lentement. La force électro-motrice avec laquelle on charge un condensateur comprime, en quelque sorte, l'électricité dans le diélectrique : on conçoit, dès lors, qu'il existe une limite de charge qu'on ne doit pas, pour un condensateur donné, dépasser : les charges positive et négative, accumulées de chaque côté du diélectrique, exercent l'une sur l'autre une attraction réciproque; si, par suite de l'emploi d'une force électro-motrice trop grande, la résistance opposée par le diélectrique se trouve trop faible, celui-ci est foudroyé et la recombinaison des deux fluides se produit. L'étincelle électrique n'est autre chose qu'une manifestation de cette recombinaison, qui s'accompagne d'une production de chaleur, de lumière et de bruit.

Lorsqu'un condensateur a été chargé dans les conditions normales, c'est-à-dire en deçà de la limite de déformation du diélectrique, il conserve sa charge pendant un temps plus ou moins long, suivant la nature du diélectrique; si ce dernier est constitué par une simple couche d'air, le condensateur perd sa charge en un instant, tandis qu'avec d'autres substances, telles que celles dont nous avons parlé plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

haut, la charge se perd avec moins de rapidité. Par exemple, si, après avoir déchargé une bouteille de Leyde, on la laisse isolée pendant quelque temps, on peut ensuite en tirer une nouvelle étincelle, due à la décharge du verre interposé entre les armatures : c'est ce qu'on appelle la *décharge résiduelle* d'un condensatuer.

La charge que peut prendre un condensateur donné est proportionnelle à la force électro-motrice de la source, ce qu'exprime la formule :

$$Q = CV$$

dans laquelle Q représente la quantité d'électricité emmagasinée, V la force électro-motrice ou le voltage de la source et C un coefficient propre au condensateur envisagé et qui résulte de sa constitution : c'est-à-dire sa capacité.

L'unité de quantité est le *coulomb* : c'est la quantité d'électricité débitée par un courant d'une intensité de 1 ampère (1 volt sur 1 ohm) pendant une seconde. L'unité de capacité est le *farad* : c'est la capacité d'un condensateur qui peut emmagasiner une quantité d'électricité égale à 1 coulomb. Dans la pratique, cette unité serait infiniment trop grande et on lui a substitué le *microfarad*, qui vaut un millionième de farad. Dans le tableau que nous avons donné (p. 355) des différents types de conducteurs souterrains, on voit que la capacité kilométrique de ceux-ci est de 0,24 ou 1/4 environ de microfarad.

Comparaison entre les lignes aériennes et les lignes souterraines. — On peut voir, d'après cet exposé sommaire, que si une ligne souterraine et une ligne aérienne constituent toutes deux un condensateur, la capacité de la première sera incomparablement plus grande que celle de la seconde. Le pouvoir d'absorption des diélectriques, l'air et la gutta-percha, étant très différent, il en résulterait déjà que, toutes choses égales, longueur, section et nature du métal, la ligne souterraine aurait une capacité 4,2 fois plus grande que la ligne aérienne. Mais l'épaisseur du diélectrique est encore un facteur important, qui vient consi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dérablement augmenter la disproportion entre les capacités de ces deux genres de lignes : l'intervalle d'air, interposé entre deux fils soutenus par une même rangée de poteaux, n'est généralement pas inférieur à 50 centimètres, tandis que celui qui sépare deux conducteurs d'un même câble n'est que de quelques millimètres. M. Devaux-Charbonnel, à la suite de mesures nombreuses et précises, fixe à 0,009 microfarad par kilomètre la capacité moyenne des lignes aériennes; celle d'une ligne souterraine étant de 0, 24, c'est-à-dire 26 ou 27 fois plus grande, on voit avec quelle lenteur se fera la propagation sur une ligne souterraine par comparaison avec une ligne aérienne de même longueur, de même grosseur et de même métal.

A l'induction électrostatique, il convient d'ajouter l'induction électro-dynamique, résultant du champ magnétique créé autour du conducteur par le passage du courant. tous les phénomènes d'induction constituent, évidemment. une dépense d'énergie fournie par le courant même qui les engendre : il s'ensuit que la durée de la période variable sera plus longue sur les lignes souterraines que sur les lignes aériennes, les dits phénomènes étant plus intenses dans les premières que dans les secondes, par suite de la grande proximité des différents conducteurs. On peut dire que, lorsqu'un fil est suffisamment voisin d'un autre pour exercer sur ce dernier une induction, le courant, retenu en quelque sorte par ce travail accessoire, ne peut dépasser un point du premier avant que cette action sur le second soit terminée; et, comme cette sorte d'arrêt du courant se répète pour chacun des points qui constituent le conducteur, le ralentissement qui en résulte devient considérable. Dès que l'intensité a atteint d'un bout à l'autre son régime normal et tant que celui-ci ne varie pas, le courant passe comme si aucune induction ne s'était jamais produite; mais si l'intensité vient à changer, l'induction se modifie dans le même sens (augmentation ou diminution) et la variation du courant ne devient sensible à l'extrémité du fil que lorsque la variation de l'induction s'est produite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur toute sa longueur. Enfin, la courbe d'intensité, à l'arrivée, sera, à chaque instant, modifiée par les inductions, également plus intenses, résultant des transmissions effectuées sur les filsdu même câble ou des câbles enfermés dans la même conduite, par les courants telluriques, etc. Ces derniers ne sont, il est vrai, pas plus intenses sur les fils souterrains que sur les fils aériens de mêmes spécifications, mais comme, pour les premiers, le souci de la conservation des câbles,et aussi d'autres considérations que nous exposerons plus loin, obligent à faire usage de voltages faibles, des influences identiques se trouvent avoir une répercussion d'autant plus grande sur les transmissions que les courants de travail sont moins énergiques.

A la fin de chaque émission, les causes qui ont concouru à entraver la propagation se retrouveront pour ralentir la décharge, qui ne sera complètement achevée que lorsque les effets d'induction auront disparu sur tous les points successifs du conducteur. Indépendamment de la distance entre les fils, la nature du diélectrique intervient encore ici comme un facteur important : le fil aérien perd rapidement une grande partie de sa charge par l'atmosphère et aussi par les inévitables défectuosités de son isolement, ce qui hâte d'autant son retour à l'état neutre après chaque émission; le fil souterrain, au contraire, grâce à la propriété d'absorption de la gutta-percha, tend à ne restituer que graduellement la sienne qui, en outre, ne peut s'écouler que par les extrémités reliées à la terre. Il convient, toutefois, de noter que l'isolement des lignes souterraines n'est plus, actuellement, aussi parfait que lors de leur construction: certaines d'entre elles sont même affectées de pertes permanentes relativement appréciables. Cette circonstance est plutôt favorable à la rapidité de la décharge et ne constitue pas, par conséquent un désavantage.

Examinons maintenant les moyens qu'on a dû employer pour réduire, dans la mesure du possible, les inconvénients que nous venons de signaler.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Emploi de piles à faible voltage. — La charge que prend un condensateur est, nous l'avons dit, proportionnelle à la force électro-motrice de la source; cette loi s'applique donc aux conducteurs télégraphiques en général; elle nous montre que nous diminuerons l'importance des phénomènes qui accompagnent la charge et la décharge, en réduisant au minimum possible le voltage de la pile qui émet les signaux. La durée de la période variable n'en sera pas altérée, comme on pourrait le croire : celle-ci dépend de la capacité, de la résistance et de la self-induction de la ligne; à ces facteurs s'ajoutent : la résistance de la pile, de la terre et du récepteur et aussi la self-induction de ce dernier; enfin, les courants étrangers sont susceptibles de modifier la durée de la période variable qui, autrement, pour un fil et un récepteur donnés, serait toujours égale à elle-même, quelle que soit la force électro-motrice employée pour produire les signaux. En effet, si, d'une part, un voltage élevé fait pénétrer le courant plus rapidement dans le conducteur, il résulte, d'autre part, de la loi que nous venons d'énoncer, que la charge prise par chacun des points du fil sera proportionnellement plus forte et le temps nécessaire à l'établissement du régime stable restera le même; c'est ce que nous montre la figure 215, où sont juxtaposées les courbes produites à l'arrivée par deux piles de voltages différents, sur une même ligne et un même récepteur.

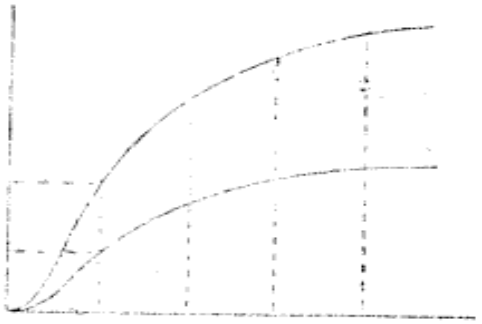


Fig. 215.

D'autres considérations militent encore en faveur de l'emploi de courants faibles : il semblerait, à priori, que le retard apporté par la charge dans le fonctionnement de l'appareil dût être compensé par le prolongement résultant de la décharge; il n'en est généralement pas ainsi. En effet, supposons une ligne desservie au Morse : l'appareil récepteur, suivant sa sensibilité, ne fonctionnera que lorsque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'intensité aura acquis une certaine valeur; mais, au moment où l'armature est actionnée, le régime stable n'est pas atteint et la courbe continue à s'élever : il s'ensuit que, suivant que le signal sera un point ou un trait, l'intensité, au moment de l'interruption, sera très différente et que, par suite, la décharge prendra beaucoup plus de temps après un trait qu'après un point; dans le cas de transmission de la lettre R (. — .), par exemple, le dernier point sera beaucoup plus rapproché du trait que le premier par suite de l'allongement résultant d'une décharge plus longue, et bien que les signaux aient été également espacés au départ. A cette première déformation, il convient d'en ajouter une autre, qui résulte de l'inertie magnétique du récepteur : le degré d'aimantation nécessaire pour que l'armature soit attirée est, évidemment, le même pour un point que pour un trait; mais, le courant continuant à circuler dans les bobines, en augmentant d'intensité, l'aimantation s'accroit d'autant plus que le signal est plus long. Or, il est clair que l'énergie nécessaire pour maintenir l'armature abaissée est, vu la proximité des noyaux à ce moment, de beaucoup inférieure à celle qu'il a fallu pour l'attirer quand elle était au repos, en outre, cette même proximité entre l'armature et les noyaux a pour effet de diminuer la *réluctance* (résistance magnétique) et d'augmenter l'intensité de l'aimantation; il s'ensuit que l'abaissement sera prolongé d'autant plus que l'aimantation aura été plus forte; cet allongement s'ajoutant à celui qui résulte d'une décharge plus longue, la déformation du signal sera d'autant plus accentuée que le courant qui circulera dans l'électro-aimant sera plus intense. On risquera même de voir les signaux se coller, la désaimantation n'ayant pas le temps de se faire suffisamment pour permettre à l'armature de se relever. On voit donc qu'à la condition de disposer de récepteurs très sensibles, on aura avantage à réduire le voltage des piles au minimum. Nous verrons plus loin qu'on peut améliorer encore les conditions de la réception en hâtant la décharge du conducteur après chaque émission.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sectionnement des lignes. — L'emploi de piles faibles aurait, toutefois, sur les longues lignes souterraines, le grave inconvénient de donner, à l'arrivée, une courbe d'intensité extrêmement aplatie : la charge que peut prendre le conducteur est proportionnelle non seulement à la force électro-motrice de la source, mais encore à la résistance du dit conducteur : en effet, plus la résistance est grande, moins le courant se propage rapidement et plus, par suite, la quantité d'électricité emmagasinée par le diélectrique est considérable.

Nous avons eu l'occasion d'examiner (v. p. 92) les conditions du fonctionnement d'un appareil récepteur sur une ligne sujette à variations, et nous avons été amené à conclure que le maximum de sécurité est atteint lorsque l'armature est actionnée pendant la période d'accroissement rapide : l'aplatissement de la courbe, dont nous parlons plus haut, rendrait précaire le fonctionnement, non seulement d'un appareil dont les signaux sont différenciés par le moment, mais même, d'une façon générale, de toute espèce de système. La solution consistait donc à sectionner les longues lignes souterraines en fractions ne dépassant guère 150 kilomètres et à réunir les diverses sections par des appareils translateurs ou relais, dont nous examinerons plus loin quelques types : la courbe d'intensité, à l'extrémité de chaque section, se trouve ainsi suffisamment relevée pour que la sécurité des signaux soit assurée.

Dans les installations Baudot sur les lignes souterraines, le sectionnement avait été complété par l'inversion du sens du courant à chaque réexpédition : c'est ainsi que sur la ligne Paris-Bordeaux, deux fils souterrains, 010 et 011

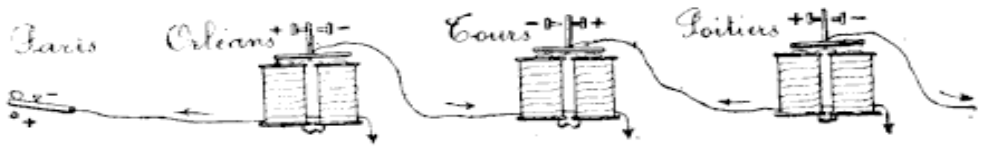


Fig. 216.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont été affectés exclusivement, le premier à la transmission de Paris, le second à celle de Bordeaux; des relais translateurs ont été installés à Orléans, Tours, Poitiers et Angoulême, c'est-à-dire à environ 120 kilomètres les uns des autres. La figure 216 ci-dessus montre que, lorsque Paris envoyait un courant négatif, Orléans réexpédiait un positif à Tours; ce poste renvoyait un négatif à Poitiers, qui, à son tour, émettait un positif, et ainsi de suite. Cette inversion, dans la pensée de son auteur, présente un double avantage : dans une certaine mesure, elle soustrait à l'induction électro-dynamique les conducteurs qui, placés dans le même câble ou dans la même conduite, suivent le même parcours sur une distance assez longue : l'influence exercée par une section tend à annuler celle de la section suivante; en outre, l'action perturbatrice des courants telluriques se trouve aussi considérablement amoindrie, puisque sur deux sections voisines, le courant de travail est influencé en sens inverse par les courants naturels.

Emploi du positif comme courant de repos. — Le dispositif Baudot, malgré les avantages qu'il présente en ce qui concerne la protection des signaux, a dû récemment être abandonné. Des expériences ont révélé, en effet, que les sections dans lesquelles le positif était employé comme courant de repos se trouvaient dans des conditions bien meilleures, à divers points de vue, que celles où ce courant était utilisé pour le travail. A quoi pouvait-on attribuer cette différence? C'est ce que nous allons examiner.

La gutta-percha, qui sert d'isolant aux conducteurs souterrains, se conserve dans des conditions très différentes, suivant l'état hygrométrique du milieu dans lequel elle séjourne : c'est ainsi que, d'une façon générale, la gutta conservée dans un endroit exempt d'humidité finit, à la longue, par se dessécher, par se « résinifier » : elle se fendille et devient extrêmement cassante; au contraire, dans un milieu légèrement humide, elle conserve sa souplesse pendant très longtemps. Or, une ligne souterraine de quelque longueur traverse forcément des sols de natures dif-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

semblables au point de vue de la perméabilité, et il n'est pas extraordinaire que la gutta-percha, identique d'un bout à l'autre lors de la construction, se trouve, après quelques années, plus ou moins modifiée, suivant les points où on l'examine. C'est ce qui a été observé, en effet, sur la plupart des longues lignes souterraines : dans un sol humide, comme, par exemple, un terrain de culture tel que la Beauce, le guipage semble pourri, mais la gutta a conservé toute sa souplesse, et l'isolement du conducteur est presque aussi parfait qu'au moment de la construction. Au contraire, dans un terrain calcaire, dans la traversée des villes, où l'on trouve, pour la plupart des cas, des terres de remblai, la gutta est résinifiée. On a observé, en outre, que, pour une section envisagée, l'isolement est bien meilleur en hiver qu'en été, à cause de la dilatation des molécules de l'isolant, sous l'action de la chaleur.

On conçoit que, dans ces conditions, la partie d'un câble dont la gutta s'est ainsi fendillée, constitue un point faible : les fentes se remplissent, à la longue, d'oxyde de cuivre et finissent par établir, entre les différents conducteurs et entre ceux-ci et la conduite, de véritables dérivations. Lors de l'installation au Baudot des fils 01 et 02, pour la communication Paris-Lille, le mélange de ces deux conducteurs avec les autres fils de la même conduite s'est nettement révélé; sur d'autres lignes, où il n'est pas aussi caractérisé, on peut le constater en plaçant à l'extrémité d'un fil un récepteur téléphonique : on distingue alors, en outre des courants d'induction, les transmissions effectuées au Morse ou au Hughes sur les fils voisins.

Ces dérivations prennent une importance plus ou moins grande, au point de vue du mélange des transmissions, suivant leur nombre et la résistance de chacune d'elles. Examinons maintenant l'influence que pourront exercer l'un et l'autre des deux courants — positif et négatif — sur ce dernier facteur : la résistance. Nous étudierons plus loin (v. *Electrolyse*) les phénomènes de décomposition de l'eau par le courant électrique; disons seulement, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'instant, que, lorsqu'un conducteur est affecté d'une perte, le point où celle-ci a lieu constitue, grâce à l'humidité ambiante, un voltamètre : l'oxygène et l'hydrogène, résultant de l'électrolisation de l'eau, sont rendus libres et se portent, le premier sur l'électrode reliée au pôle positif, le second sur celle qui communique avec le pôle négatif; en ne nous occupant que du conducteur, nous voyons que le courant positif, au point défectueux, détermine un afflux d'oxygène, qui oxyde le métal, c'est-à-dire l'enveloppe d'une gaine mauvaise conductrice; lorsque le courant est négatif, au contraire, c'est l'hydrogène qui se porte sur le fil; ce métalloïde réduit l'oxyde qui recouvre ce dernier pour s'emparer de son oxygène et reformer de l'eau; le métal est, en quelque sorte, décapé, et la conductibilité de la dérivation se trouve rendue meilleure : c'est ainsi que, sur les fils aériens comme sur les souterrains, les pertes en négatifs sont toujours plus élevées que celles en positif.

On voit déjà que, pour les appareils employant un seul sens de courant, le positif devra être préféré au négatif, puisque le premier bouche, pour ainsi dire, les fuites, tandis que le second les débouche. Au Baudot, il est vrai que, dans l'alphabet complet de trente-deux combinaisons, chaque touche est abaissée seize fois et laissée au repos seize fois, d'où il suit que, si la transmission était continue, le nombre d'émissions positives et négatives, envoyées dans un temps donné, devrait être sensiblement le même; mais il n'en est jamais ainsi : sans parler des intervalles, très courts, entre chaque dépêche et de ceux, plus grands, entre deux séries consécutives, il y a des heures où le trafic est restreint; les secteurs inutilisés restent sur transmission et émettent leur courant de repos : il en résulte que l'action électrolytique de ce dernier est toujours prépondérante et qu'il y a, par suite, avantage à employer, pour cette fonction, le positif, préférablement au négatif, comme on l'a fait jusqu'à ces derniers temps. L'effet de cette substitution est manifeste sur la communication Paris-Lille, dont nous parlons plus haut : le mélange a complètement disparu sans qu'au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cune réparation ait été effectuée sur les lignes. Reste à savoir si, à force de déposer sur le métal de l'oxygène qui l'attaque, on ne créera pas d'abord des étranglements, puis, ensuite, des coupures de l'âme conductrice : l'avenir le dira.

Décharge. — Bobine Godfroy. — Nous avons vu précédemment que le courant de décharge, prolongeant l'action du courant principal, est susceptible de déterminer une déformation des signaux. L'affaiblissement du voltage des piles atténue, dans une très large mesure, cet inconvénient, mais ne le supprime pas entièrement : il a donc fallu se préoccuper d'accélérer le plus possible la décharge après chaque émission, et, dans ce but, de nombreux dispositifs ont été essayés. Nous en examinerons quelques-uns, lorsque nous nous occuperons des relais qui réunissent les différentes sections d'un même conducteur. Mentionnons pour mémoire, les systèmes de compensation, exclusivement employés actuellement sur les lignes desservies à l'appareil Wheatstone, et dans lesquels, pour arriver à ce que la ligne ne soit pas plus chargée par un trait que par un point, on divise les émissions longues en deux périodes : la première effectuée à l'aide d'une pile forte, de manière que le courant soit assez énergique pour opérer le déplacement de l'armature; la seconde, par l'intermédiaire d'une pile plus faible ou de la même, à travers une résistance convenablement calculée, de telle sorte que, dans tous les cas, cette seconde partie ait juste l'intensité nécessaire pour maintenir abaissée l'armature, démarrée par le courant fort, mais ne soit pas susceptible de faire monter davantage la courbe d'intensité.

L'électro-aimant imaginé par M. Godfroy et placé en dérivation sur la ligne joue, d'une façon extrêmement simple, le rôle compensateur dévolu au système mentionné ci-dessus, grâce à la self-induction dont, par construction, elle a été pourvue (v. p. 52). Cet électro-aimant, E (fig. 217), comporte une culasse C et une armature A, qui, réglable au moyen de deux boutons B, peut être approchée ou éloignée des noyaux, de manière à fermer plus ou moins

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le circuit magnétique. On fait, ainsi, varier à volonté le coefficient de self-induction de la bobine, pour l'adapter, dans les meilleures conditions, au conducteur auquel elle est destinée.

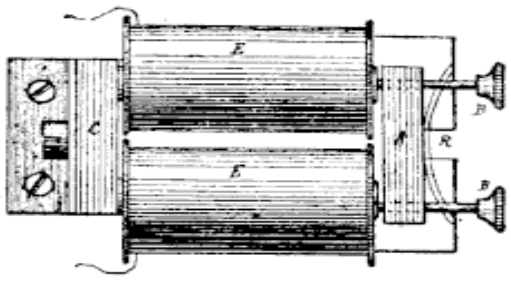


Fig. 217. — Bobine Godfroy.

Lorsqu'on abaisse le manipulateur Morse (ou tout autre système), le courant trouve devant lui deux chemins (fig. 218), l'un sur la ligne, l'autre à la terre, à travers la bobine Godfroy G. Au premier moment, celle-ci à cause de son coefficient de self-induction, oppose un obstacle à peu près infranchissable au courant, qui se rend, ainsi, presque en totalité sur la ligne; mais la force électromotrice développée dans la bobine, décroît progressivement, la dérivation s'établit, de plus en plus importante, et il arrive bientôt un moment où la plus grande partie du courant passe par la bobine, dont la self-induction n'a plus d'action, au lieu de se rendre sur la ligne.

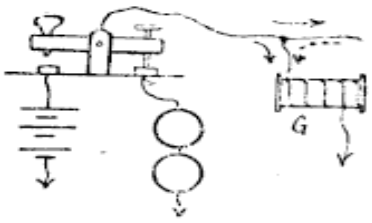


Fig. 218

Celle-ci ne peut donc continuer à se charger, comme elle le ferait sans la dérivation. Nous avons fait ressortir (p. 368) la différence d'intensité nécessaire pour attirer l'armature au contact ou pour l'y maintenir, lorsqu'elle y a été amenée : le courant a, au début, toute son énergie, comme s'il était envoyé par la pile forte du système compensateur dont nous avons parlé, et l'armature est franchement attirée; l'intensité, de plus en plus faible, qui complète le signal et qui aurait été impuissante à effectuer le travail de démarrage, est suffisante pour garder l'armature dans sa position d'abaissement et on échappe, ainsi, aux inconvénients que nous avons signalés.

Lorsqu'on abandonne le manipulateur, l'extra-courant développé dans la bobine Godfroy est de même sens que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le courant qui a provoqué l'aimantation; ce courant de self-induction se développe dans le circuit formé par la ligne et le récepteur correspondant. En comparant (fig. 218) la flèche en trait plein, qui représente la direction du courant principal, avec celle en pointillé, qui indique le sens de l'extra-courant, on voit que la seconde, de même sens que la première dans la bobine, est de sens inverse sur la ligne et dans l'appareil récepteur où elle produit exactement l'effet d'une pile de décharge, en déterminant une véritable aspiration, qui hâte le retour du conducteur à l'état neutre. A l'arrivée, l'autre bobine concourt à décharger la ligne, comme celle du poste transmetteur, mais, en outre, sa self-induction tend à annuler celle du récepteur et à vaincre, par conséquent, l'obstacle que présente cette dernière à la rapide succession des signaux.

Les propriétés remarquables de la bobine Godfroy l'ont fait adopter sur toutes les lignes souterraines; toutefois, il a paru que son action n'était pas toujours aussi favorable à l'arrivée qu'au départ, et que, dans certains cas même, sa présence auprès du récepteur et la dérivation qu'elle y établissait n'allaient pas sans quelques inconvénients. C'est pourquoi on s'est ingénié, par des dispositifs spéciaux, à l'intercaler seulement pendant la transmission et à l'isoler, au contraire, au moment de la réception. Aucun d'eux n'a été retenu dans la pratique; leur efficacité a été, sinon contestée, tout au moins discutée. La plupart des critiques, que nous avons entendu formuler, s'appliquent tout aussi bien au cas où la bobine Godfroy est placée à la rosace des lignes,sur le fil lui-même.Lors des essais qui ont été faits, on a évidemment perdu de vue que, dans les postes pourvus d'accumulateurs, de résistance intérieure nulle, le débit, pour ainsi dire, illimité de ces sortes de sources, fait qu'aucune compensation ne s'établit : la ligne et la bobine reçoivent chacune autant de courant que si elles étaient indépendantes l'une de l'autre, comme deux postes différents puisant à la même prise; quelques chiffres simples feront mieux saisir l'importance de cette objection : sup-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

posons, d'une façon tout arbitraire, un accumulateur de 10 volts et de résistance intérieure nulle, placé sur un circuit de 1.000 ohms comportant une dérivation, à travers une bobine Godfroy, de 1,000 ohms également; au début de l'émission, si l'on suppose que la self-induction de la bobine s'oppose d'une façon absolue au passage du courant dans la dérivation, l'accumulateur fournira 1 /100 d'ampère, qui parcourra exclusivement le conducteur; à la fin, au contraire, et si l'on admet qu'à ce moment la self-induction est vaincue et que la bobine se comporte comme une dérivation inerte, la résistance résultante du circuit est devenue $\frac{1.000 \times 1.000}{1.000 + 1.000} = 500$ ohms (v. p. 43). L'accumulateur fournira donc, à ce moment, $\frac{10}{500} = 0{,}02$ amp., qui, répartis entre le conducteur et la bobine, font 1 /100 de part et d'autre; en d'autres termes, la présence de la bobine Godfroy n'a nullement affaibli le courant envoyé sur la ligne, puisque l'intensité à la rupture est la même qu'à la fermeture du circuit. Il semble que d'une part, l'introduction, dans le circuit de la source électrique et avant *l'arrivée au manipulateur*, d'une résistance remplaçant celle qui fait défaut à l'intérieur (quitte à modifier en conséquence le voltage), d'autre part, le calcul convenable de la résistance et de la self-induction de la bobine Godfroy par rapport au conducteur, replacerait cet ingénieux instrument dans les conditions qui assurent son efficacité.

Pour ce qui concerne plus spécialement l'appareil Hughes, on a dit que, l'armature se trouvant mise en communication avec le levier de détente, aussitôt après l'envoi du courant, la décharge se faisait, non par la bobine Godfroy, mais par la terre directe, ainsi établie temporairement. Au Poste Central, dans tous les cas, et dans les autres, si le déclanchement automatique est réglé avec le maximum de longueur de la tige, la dérivation à la terre ne s'établit que lorsque le levier de transmission est revenu à la position de repos : la ligne se trouve donc isolée pendant le temps

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que le dit levier parcourt l'intervalle entre ses deux butées. En admettant même, ce que nous n'avons pas vérifié, que ce temps soit trop court pour que la bobine produise tout son effet, il ne semble pas douteux que cette action, tout incomplète qu'elle puisse être, est préférable à l'isolement de la ligne : la décharge commencée ainsi par la bobine Godfroy, se continue ensuite par la dérivation de l'armature.

Décharge Sarthou. — M. Sarthou, commis à Lyon-Central, a imaginé un dispositif destiné à accélérer la décharge des conducteurs, non seulement dans les postes translateurs, mais encore au passage d'un fil dans un bureau quelconque. Ce dispositif, aussi simple qu'ingénieux, est actuellement soumis au Comité Technique; sa description trouvera place à la suite de celle d'une translation du même auteur, et dont il n'est qu'une modification (v. *Translation Sarthou*).

Réglage des Hughes sur les lignes souterraines. — Le réglage que nous avons indiqué (p. 330) s'applique aux lignes souterraines comme aux lignes aériennes; mais, pour les appareils desservant les premières, nous insisterons particulièrement sur l'intérêt qu'il y a à donner à l'électro-aimant le maximum de sensibilité.

Or, ce maximum ne pourra être atteint que si, au préalable, les réglages indiqués (p. 282 et suiv.) ont été minutieusement opérés, c'est-à-dire si l'armature s'appuie bien d'une quantité égale sur les deux pièces polaires, si l'électro-aimant n'est placé ni trop haut ni trop bas, ne penche ni à droite ni à gauche. Dans le même but, on nettoiera fréquemment les pièces polaires et on remplacera le papier qui les couvre dès qu'il sera maculé d'huile ou de colle; on le choisira exempt de bosses et de rugosités et on le tendra soigneusement; on passera, de temps à autre, un bout de bande propre entre les deux ressorts de la came correctrice, ainsi qu'entre l'armature, préalablement soulevée, et la vis du levier de détente, pour assurer dans les meilleures conditions possibles la dérivation à la terre.

Afin que l'armature soit bien rappelée au contact des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

noyaux et y soit maintenue le plus longtemps possible, on serrera la vis du levier de détente, de manière que, lorsque le colimaçon soulèvera la tête du dit levier, on ne trouve même pas le petit jeu que nous avons conseillé de laisser, entre la vis et le ressort porté par l'armature, pour les appareils desservant les lignes aériennes (v. p. 290); on ne prendra pour limite à ce serrage que le point à partir duquel il occasionnerait le ralentissement de l'appareil; un rappel insuffisant permettrait à l'armature de se soustraire à l'action de l'aimantation et la seule ressource serait d'augmenter celle-ci en retirant du fer doux, c'est-à-dire en désensibilisant l'électro-aimant.

Enfin, on assurera soigneusement le réglage des ressorts de la came correctrice, afin que l'armature soit sûrement revenue au repos lorsqu'ils arrivent au contact.

Dans le réglage en ligne, il faudra tenir compte de ce fait que l'inégal espacement des émissions et la charge résiduelle que laisse chacune d'elles, peuvent rendre variable le moment où l'intensité est suffisante pour actionner l'armature : on s'efforcera d'obtenir correctement la combinaison INT, après avoir, pendant quelques tours, mis la ligne à la terre à l'aide de la manette.

Sur certaines lignes présentant une grande capacité, on remarque parfois qu'au début de la transmission, l'appareil part du Z; cela tient à la cause dont nous venons de parler : la première émission, trouvant la ligne complètement déchargée, met plus de temps à se propager que les suivantes et la seconde, arrivant plus tôt, donne lieu, si elle a été provoquée par le goujon blanc des lettres à l'impression de la lettre Z. Il faut, dans ce cas, prier le correspondant de commencer sa transmission par plusieurs blancs consécutifs et ramener au blanc, pendant ce temps, pour mettre d'accord les deux appareils.

Lorsqu'après de nombreux et soigneux réglages, on constatera de fréquents déraillements, il sera avantageux de réduire la vitesse de rotation, dans le but de faciliter la correction et de rendre moins sensibles les variations

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans le moment du soulèvement de l'armature. En effet, les irrégularités dans la propagation des courants prennent une importance d'autant plus grande que la vitesse est plus rapide : un écart, représentant une fraction déterminée de seconde, correspond à un angle plus ou moins grand décrit par la roue correctrice et peut, suivant la vitesse angulaire de celle-ci, lui permettre d'avancer d'une fraction supérieure ou inférieure à 1/56 : il y aura donc déraillement dans le premier cas, tandis que dans le second, l'écart sera masqué par le fonctionnement de la correction. La réduction du rendement, résultant d'une vitesse moindre, sera compensée, et au delà, par la diminution de fréquence des déraillements et le travail en sera rendu plus sûr et moins pénible. Il est à remarquer que la diminution de la vitesse entraîne forcément l'allongement des émissions, mais ce n'est pas là le but qu'on cherche à atteindre par cette manœuvre; il serait même avantageux, au point de vue de la charge du conducteur, de pouvoir réduire la vitesse sans changer la longueur des courants.

Théoriquement, les courants telluriques n'affectent pas plus les lignes souterraines que les fils aériens; ils prennent, nous l'avons dit, une importance plus grande sur les premières parce que leur résistance, généralement moindre, à longueur égale, permet, sous la même différence de potentiel, une intensité plus considérable, ensuite, parce que les courants de travail y sont plus faibles. Mais il convient de noter que, hors le cas de perturbations particulièrement accentuées et heureusement assez rares, leur intensité et leur direction ne se modifient que graduellement. Il en résulte seulement la nécessité de suivre, par un réglage approprié de l'électro-aimant, les modifications de l'obstacle qu'ils opposent au travail; pour une direction donnée et si leur intensité va, par exemple, en s'accroissant, l'un des deux correspondants verra ses courants renforcés pendant que ceux de l'autre seront atténués. Le premier devra donc progressivement sensibiliser, tandis que le second sera amené à faire la manœuvre inverse. Nous

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avons indiqué (p. 56) que les maxima s'observent généralement vers 9 heures du matin et 3 heures du soir et les minima vers midi et minuit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXI

RELAIS TRANSLATEURS

Principe du relais translateur. — Un relais translateur n'est autre chose qu'un manipulateur automatique, placé au milieu d'une ligne et qui reproduit, sur la seconde section, les signaux reçus de la première, comme le ferait un employé chargé de réexpédier ceux-ci, aussitôt leur apparition. Ce manipulateur automatique est constitué par l'armature elle-même de l'électro-aimant enregistreur : celle-ci, en effet, reproduit fidèlement tous les mouvements du manipulateur placé à l'autre bout de la ligne, et peut facilement être agencée pour opérer la retransmission des signaux émis par ce dernier.

Soit, par exemple, un électro-aimant, E (fig. 219), disposé comme celui d'un récepteur Morse; l'armature, A, mobile autour du point O, est maintenue contre son butoir de repos, BR, par un ressort antagoniste, *r*, convenablement tendu; le butoir de travail, BT, est isolé du reste du massif et relié à une pile, P; enfin, l'entrée des bobines de l'électro-aimant communique avec la ligne n° 1, l'armature avec la ligne n° 2. Le poste n° 1 transmettant, ses signaux arrivent dans l'électro-aimant E, dont ils actionnent l'armature : celle-ci, s'abaissant, vient s'appuyer contre le butoir de travail, relié à la pile P : un courant de cette dernière est envoyé sur la ligne n° 2, pendant tout le temps que dure

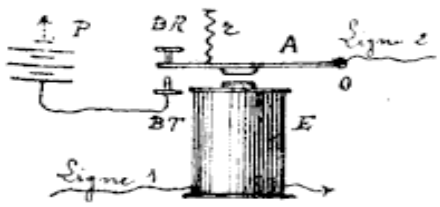


Fig. 219.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le maintien de l'armature contre les noyaux; or, cet abaissement subsiste lui-même aussi longtemps que le manipulateur du poste de départ n'est pas ramené à la position de repos : le signal réexpédié sur la ligne nº 2 est donc la reproduction exacte de celui qui a été reçu de la ligne nº 1.

RELAIS FROMENT

Le dispositif ci-dessus réexpédie les signaux transmis par le poste A (nº 1) vers le poste B (nº 2), mais ne permet pas la transmission de B vers A, sans la manœuvre d'un commutateur, qui puisse relier la ligne nº 2 à l'entrée des bobines et la ligne nº 1 à l'armature, autrement dit, qui inverse les communications chaque fois qu'on veut inverser le sens de la transmission. Le translateur Froment évite cette commutation périodique et permet aux postes extrêmes de communiquer aussi librement que s'ils étaient reliés sans aucun intermédiaire.

Ce translateur est constitué par la juxtaposition de deux électro-aimants, 1 et 2 (fig. 220); les armatures sont reliées l'une à la ligne nº 1, l'autre à la ligne nº 2; le butoir de repos de chacun des électro-aimants communique avec l'entrée des bobines de l'autre; enfin, les butoirs de travail sont, comme dans l'exemple précédent, réliés chacun à une pile. (On pourrait avoir une pile unique pour les deux relais, si la distance et la nature du conducteur étaient identiques de chaque côté.)

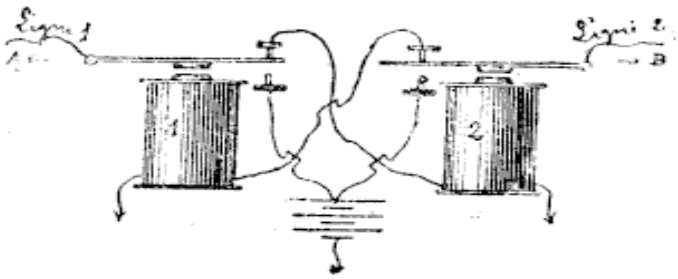


Fig. 220.

Lorsque le poste A transmettra, ses courants arriveront dans l'armature de l'électro-aimant nº 1, qui est au repos, et passeront, par le butoir supérieur, dans les bobines de l'électro-aimant nº 2 pour se rendre, de là, à la terre; l'armature de ce dernier fonctionnera comme le relais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

unique que nous avons décrit plus haut et reproduira, sur la ligne nº 2, le signal reçu de A.

Lorsque B, à son tour, voudra transmettre ou interrompre A, ses courants, arrivant par l'armature nº 2, iront, de même, actionner l'électro-aimant nº 1, qui renverra des courants vers A, par son armature reliée à la ligne nº 1.

Les deux butoirs de chaque électro-aimant sont portés par une même colonne métallique, mais isolés l'un de l'autre; ils sont constitués, comme ceux d'un récepteur Morse, par deux vis, ce qui permet de régler convenablement leur hauteur.

DÉCHARGE

Nous avons vu, dans le chapitre consacré aux lignes souterraines, l'importance qu'il y a , pour celles-ci comme pour les longues lignes aériennes, à décharger rapidement le conducteur après chaque émission transmise. Or, dans le translateur Froment, que nous venons de décrire, la décharge ne peut se faire qu'à travers l'électro-aimant nº 1 lorsque l'autre a fonctionné, et réciproquement, l'armature revenant, après que le signal est transmis, au contact de son butoir de repos. Mais la résistance et la self-induction de l'électro-aimant, ainsi interposé entre la ligne à décharger la terre, ralentissent notablement cette fonction essentielle : la mise directe à la terre est beaucoup plus efficace, c'est pourquoi différents dispositifs ont été imaginés, dans le but de relier, pendant un temps court, le butoir de repos de l'arma ure qui vient d'être actionnée avec la terre, sans passer par l'électro-aimant qui, en temps normal, communique avec ce butoir. Nous en examinerons quelques-uns lorsque nous décrirons les systèmes de relais auxquels ils sont adaptés.

RELAIS POLARISÉS

L'emploi d'électro-aimants ordinaires, dans les installations de relais translateurs, offre certains inconvénients,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous le rapport, notamment, de la sensibilité et de la rapidité, ces deux qualités qu'il est très difficile de réunir dans un seul électro-aimant ordinaire et qui, cependant, sont essentielles, si l'on veut échapper, dans la mesure du possible, à la déformation des signaux. Or, il est clair que, sur une longue ligne comportant plusieurs retransmissions successives, les déformations résultant du premier relais seront reproduites et accentuées par le second, et ainsi de suite, de telle sorte que les signaux, à l'extrémité de la ligne, pourront arriver méconnaissables. C'est dans le but de parer à ce grave inconvénient qu'on a eu recours à des électro-aimants polarisés qui, comme nous le verrons, sont susceptibles d'un réglage beaucoup plus délicat que les électro-aimants ordinaires.

TRANSLATEUR D'ARLINCOURT

Electro-aimant. — L'électro-aimant d'Arlincourt est formé de deux électro aimants droits, avec pièces polaires, réunis à leur partie supérieure par un pont en fer ou culasse, C (fig. 221). L'armature, S', est polarisée par le voisinage d'un aimant permanent, dont elle est rendue solidaire par un pivot vertical, et peut osciller entre deux boutoirs, R et T. Lorsque l'électro-aimant n'est parcouru par aucun courant, l'armature, aimantée sud, exerce une attraction sur les deux pièces polaires et elle pourrait indifféremment s'appuyer sur l'un ou l'autre de ses butoirs, si ceux-ci se trouvaient à égale distance de la médiane; mais si, comme dans la figure 221, les butoirs sont placés tous deux à droite de la médiane, l'armature, quelle que soit la position qu'on lui fasse prendre, sera toujours plus près de *s* que de *n* : l'action exercée sur la première sera prédominante et le butoir R sera le butoir de repos.

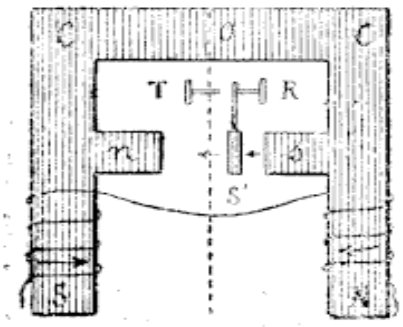


Fig. 221

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si on fait passer un courant dans cet électro-aimant, il se produit un pôle nord à l'une des extrémités, un pôle sud à l'autre et une ligne neutre en O. De plus, les pièces polaires sont le siège l'une d'un pôle sud, l'autre d'un pôle nord, placés comme l'indique la figure 221.

L'armature, polarisée sud, sera donc repoussée par le pôle de même nom développé à droite, attirée par le pôle nord à gauche : elle quittera le butoir R, ou butoir de repos, pour venir s'appuyer sur le butoir T ou butoir de travail, contre lequel elle restera pendant tout le temps que les bobines seront parcourues par le courant venant de la ligne. Le butoir T étant, comme dans le relais Froment, relié à une pile et l'armature à la seconde section de la ligne, celle-ci recevra une émission, reproduisant le signal enregistré par le relais.

Au moment où le courant cessera de circuler dans les bobines, les polarités *n* et *s* seront subitement interverties : l'armature, repoussée à gauche et attirée à droite, reviendra sur le butoir R où elle restera, vu sa plus grande proximité de la saillie de droite que de celle à gauche.

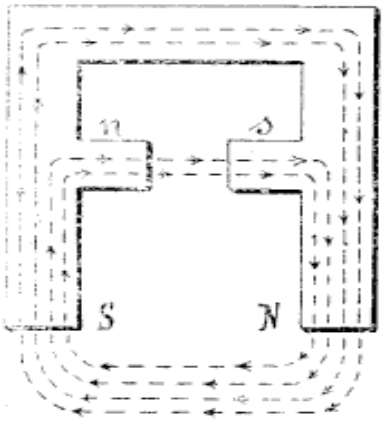


Fig. 222.

L'explication de ce phénomène est la suivante : pendant le passage du courant (fig. 222), une partie des lignes de force circulant à l'intérieur des noyaux, se dérive d'une saillie à l'autre ; celle de gauche devient un pôle nord, celle de droite un pôle sud. Quand le courant est interrompu, l'aimantation ne disparaît pas instantanément, et nous savons, d'autre part, que, plus la réluctance d'un circuit magnétique est faible, plus l'aimantation rémanente est considérable (v. p. 47) : les extrémités des noyaux se désai-

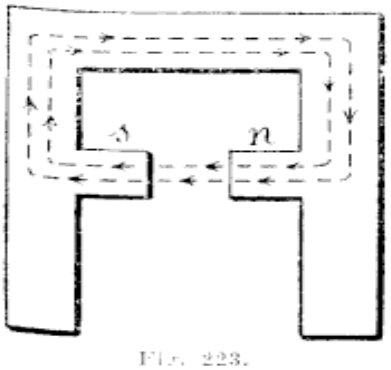


Fig. 223.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manteront donc plus vite que la culasse qui, pendant un court intervalle, conservera son magnétisme; celui-ci étant de même sens que précédemment, les lignes de force se fermeront comme l'indique la figure 223, et les polarités initiales des saillies seront inversées.

Coup de fouet. — Le magnétisme rémanent, dont les saillies sont le siège au moment de la cessation du courant, permet d'utiliser l'électro-aimant d'Arlincourt, d'une façon très originale, pour la décharge de la ligne après chaque émission. Si les butoirs R et T, au lieu d'être placés, comme dans les exemples précédents à droite de la médiane *xy*, sont amenés à gauche de celle-ci (fig. 224), l'armature S', plus proche de la saillie de gauche que de celle de droite, viendra s'appuyer contre le butoir R. Tout le reste de l'électro-aimant se trouvant dans le même état que précédemment, un courant traversant les bobines engendrera un pôle sud en S et *s*, un pôle nord en N et *n* : l'armature, aimantée sud, sera repoussée par la saillie *s* et attirée par l'autre, *n* : elle ne bougera pas de sa position de repos et s'appuiera seulement un peu plus fort contre son butoir R. Mais, au moment où cessera le passage du courant, l'interversion subite des polarités des saillies déterminera une répulsion à gauche et une attraction à droite : l'armature sera projetée contre le butoir T; elle n'y restera qu'un instant très court, car, le magnétisme rémanent disparaissant, l'attraction, plus forte sur la saillie de gauche que sur celle de droite, la ramènera bientôt contre le butoir R. Ce mouvement rapide de l'armature a reçu le nom de *coup de fouet*. Nous allons voir comment on l'utilise pour la décharge d'une ligne.

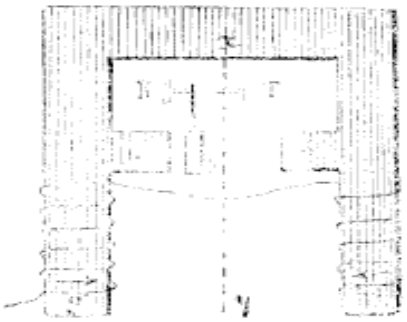


Fig. 224.

Translation d'Arlincourt. — La translation d'Arlincourt (fig. 225) comporte quatre relais, dont deux, TR^1 et TR^2, sont réglés comme relais translateurs (fig. 221),

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les deux autres, CF^1 et CF^2, sont disposés pour le coup de fouet (fig. 224); deux parleurs P^1 et P^2, agencés de façon spéciale, donnent le contrôle de la réexpédition dans chaque sens.

Un courant venant de la ligne n° 1 arrive dans le massif M^1, auquel sont reliées les armatures des deux relais TR^1 et CF^1; le butoir de repos, r^1, de ce dernier, étant isolé, le courant passe dans l'armature du relais TR^1 et, par le butoir R^1, va, de la même façon que dans la translation Froment, actionner l'autre relais translateur TR^2, dont

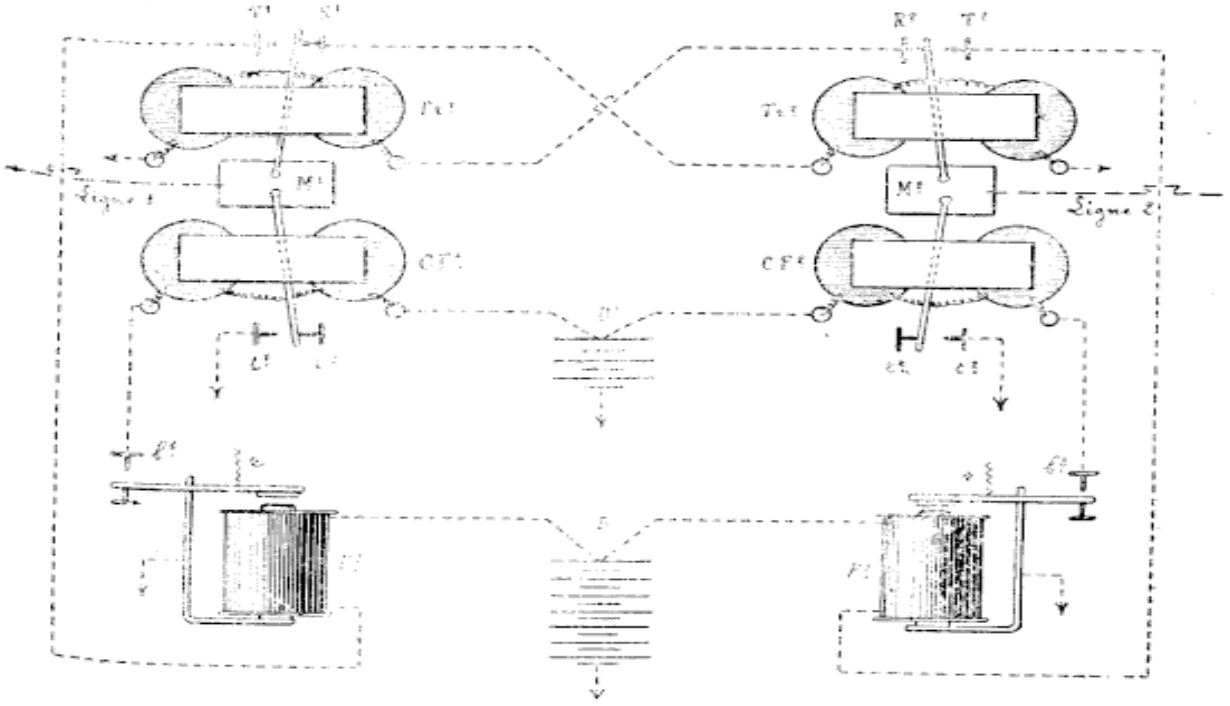


Fig. 225. — Schéma d'une translation d'Arlincourt.

l'armature se déplace et vient s'appuyer sur son butoir de travail, T^2. Un nouveau courant vient de la batterie de ligne B, à travers le parleur P^2 et, par le butoir T^2, l'armature et le massif M^2, passe sur la ligne n° 2.

Le courant de la batterie B, en traversant le parleur P^2, actionne celui-ci : son armature, en se déplaçant et indépendamment du bruit avertisseur qu'elle produit, a pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fonction de fermer le circuit de la batterie locale, B', à travers le relais CF^2, auquel elle est reliée en permanence: la sortie du relais communique avec le butoir b^2 de l'armature du parleur et celle-ci est reliée à la terre : dès que le parleur est actionné, un courant de la pile B' traverse les bobines du relais CF^2. Celui-ci étant réglé pour le coup de fouet, sa palette reste sur le butoir r^2, tant que circule le courant. Mais, dès que le relais translateur TR^2 revient au repos, l'armature du parleur se relève, le circuit de la pile B est interrompu : le coup de fouet se produit et la palette du relais CF^2, reliée à la ligne n° 2, est vivement projetée contre le butoir t^2, en communication avec la terre : la ligne se décharge et tout rentre dans la position indiquée par le schéma ci-dessus.

Les deux côtés de la planchette étant absolument symétriques, un courant venant de la ligne n°2 serait réexpédié sur la ligne n° 1 et celle-ci serait déchargée dans les mêmes conditions. Nous avons mis une seule batterie de ligne, B, pour simplifier le schéma, et ainsi que cela peut se faire sans inconvénient, lorsque la translation est placée à peu près exactement au milieu de la ligne. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, on dispose une pile distincte pour chacun des deux côtés : le voltage de chacune d'elles est alors approprié à la distance qui sépare le translateur des postes extrêmes et à la nature du conducteur. La batterie locale est, dans tous les cas, la même pour les deux relais à coup de fouet.

Ajoutons enfin que la planchette comporte deux manipulateurs Morse, qui permettent au poste translateur de se substituer, le cas échéant, à l'un des extrêmes pour converser avec l'autre, les réponses de ce dernier pouvant être lues « au son » sur le parleur.

RELAIS WILLOT

Le relais d'Arlincourt, que nous venions de décrire, offre quelques inconvénients, notamment au point de vue de la rapidité et de la régularité du fonctionnement. En

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

effet, le magnétisme rémanent, sur lequel on compte pour hâter le retour de l'armature sur le butoir de repos, subsiste pendant quelque temps après que cette action est produite, et si un nouveau courant arrive de la ligne avant qu'il ait disparu, le temps nécessaire au fonctionnement sera augmenté de celui pendant lequel ce nouveau courant s'emploiera à détruire le reste du magnétisme rémanent, avant de renverser les polarités des saillies. Cet inconvénient est d'autant plus marqué sur les longues lignes aériennes ou sur les lignes souterraines, à cause de leur grande capacité : le courant de retour tend à entretenir les polarités résultant déjà de la rémanence et à augmenter encore la paresse naturelle du relais.

Ces considérations ont amené M. Willot à modifier le relais d'Arlincourt, en plaçant, entre les pôles non utilisés du premier, une seconde armature, solidaire de la précédente et également aimantée, mais d'un pôle inverse de celle-ci (fig. 226).Le fonctionnement s'explique de la façon suivante: lorsqu'un courant traverse les bobines, il produit, par exemple, des polarités nord en N et en *n*, des polarités sud en S et en *s*, et une ligne neutre en O : les saillies, en présence du pôle sud de l'armature S', tendent à la déplacer vers la gauche; les pièces polaires, agissant sur le pôle nord de l'autre armature, N', lui communiquent un mouvement dans le même sens : les deux actions concourent à amener l'index sur le butoir de travail relié à la pile.

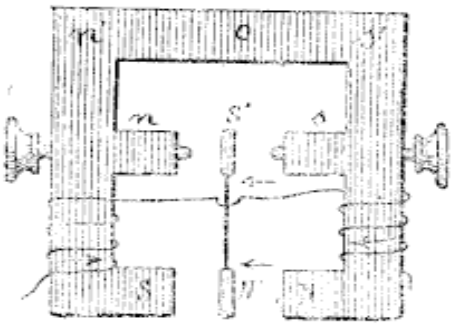


Fig. 226

Au moment où le courant cesse de parcourir l'électro-aimant, la recomposition magnétique s'effectue à la ligne neutre principale, au milieu de la culasse, en O (fig. 227.) De même que dans le relais d'Arlincourt, les polarités des saillies sont renversées par l'effet de cette recom-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position : tout le côté gauche présente une polarité rémanente sud, tout le côté droit une polarité nord. On voit, par suite, que l'armature S' sera repoussée vers la droite, tandis que N' sera attirée vers la gauche : ces deux actions contraires doivent s'annuler et le magnétisme rémanent reste sans effet sur l'ensemble des deux armatures : c'est un petit ressort à boudin, réglé dans les conditions que nous indiquerons plus loin, qui opérera le retour à la position de repos.

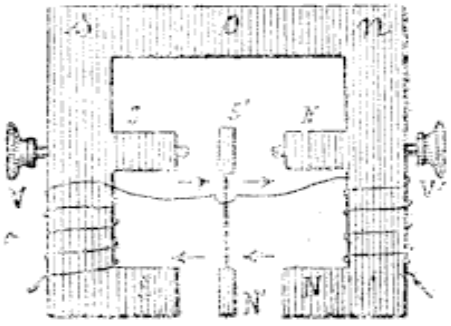


Fig. 227.

Les actions contraires, exercées sur chacune des armatures, s'annuleront si elles sont égales ; or, la force magnétique résiduelle va en décroissant, depuis l'extrémité jusqu'à la ligne neutre O : il est donc évident que cette force sera moindre sur les saillies que sur les parties polaires ; il en résulterait une action plus forte sur l'armature N' et on serait dans la nécessité, pour vaincre cette attraction, de tendre le ressort antagoniste, qui, ensuite, s'opposerait d'autant au déplacement des armatures, sous l'action des courants ultérieurs. On évitera cet inconvénient, grâce à deux vis en fer doux, VV', qui traversent les saillies et qu'on peut enfoncer plus ou moins ; les forces magnétiques agissant en raison inverse du carré de la distance, on arrivera facilement à équilibrer très exactement les actions sur les deux armatures, et à rendre nulle leur résultante, en réduisant l'intervalle du côté des saillies.

Les inconvénients du magnétisme rémanent ou condensé sont ainsi supprimés ; cet avantage est surtout appréciable sur les lignes ayant une grande capacité, comme les lignes souterraines à grande distance. Il n'est pas rare, sur de tels conducteurs, de constater qu'après quelques heures de fonctionnement, les fers doux de certains électro-aimants sont complètement polarisés par la décharge résiduelle des câbles (v. p. 364). Dans certains systèmes, le magnétisme rémanent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

prolonge l'attraction de l'armature (v. p. 368); dans le relais d'Arlincourt, au contraire, s'il hâte le retour au repos, il retarde l'attraction ultérieure et ce retard devient d'autant plus considérable que le magnétisme rémanent est plus fort.

Enfin, le relais Willot, par sa construction même, est soustrait à l'action des courants parasites qui parcourent les lignes. En effet, pour obtenir à nouveau le fonctionnement, il est indispensable de produire le renversement des polarités du côté de la culasse; or, avec les électro-aimants du modèle adopté, l'intensité nécessaire pour opérer ce renversement est de un milliampère, ce qui revient à dire que, lorsque l'électro-aimant est traversé par un courant d'une intensité inférieure à un milliampère, la polarité des saillies ne change pas; ce courant est, par conséquent, sans action sur l'axe des armatures, et on se trouve toujours dans la situation indiquée par la figure 227. Les observations faites sur les lignes souterraines ont démontré que les courants parasites, qui les parcourent, n'atteignent que rarement une intensité supérieure à un milliampère; il s'ensuit que, même s'ils ont la direction qui convient, ils sont, dans la plupart des cas, impuissants à opérer le déplacement de l'axe des armatures. L'électro-aimant Willot est construit de la façon suivante: la carcasse de fer doux, avec ses pièces polaires AB (fig. 228) et ses deux saillies, CD, est constituée comme nous l'avons

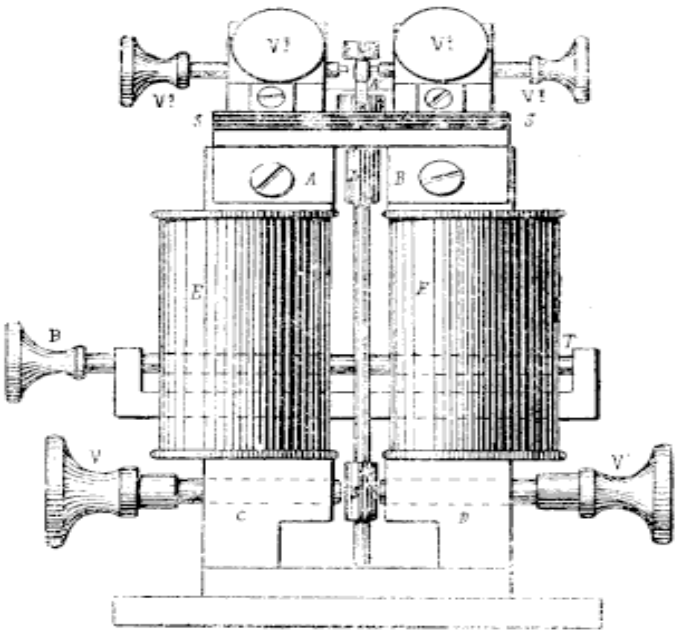


Fig. 228. — Relais Willot (face)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montré plus haut; l'intervalle entre A et C d'une part, entre B et D de l'autre, est garni de fil isolé, constituant les bobines, E, de l'électro-aimant. A la partie supérieure et isolée par un socle en ébonite, S, deux vis, V^1 et V^2 limitent le jeu de l'appendice A' de l'axe des armatures et servent en même temps de communications électriques. La figure 229 montre, de profil, l'axe et son appendice, A'A''; les armatures, N' et S', sont solidaires de cet axe et placées, l'une entre les saillies CD, l'autre entre les pièces polaires AB; elles sont polarisées par le voisinage d'un aimant en fer à cheval NS. L'armature N', placée sur le prolongement du pôle nord de l'aimant permanent, présente aux pièces polaires un pôle nord; l'autre est aimantée sud.

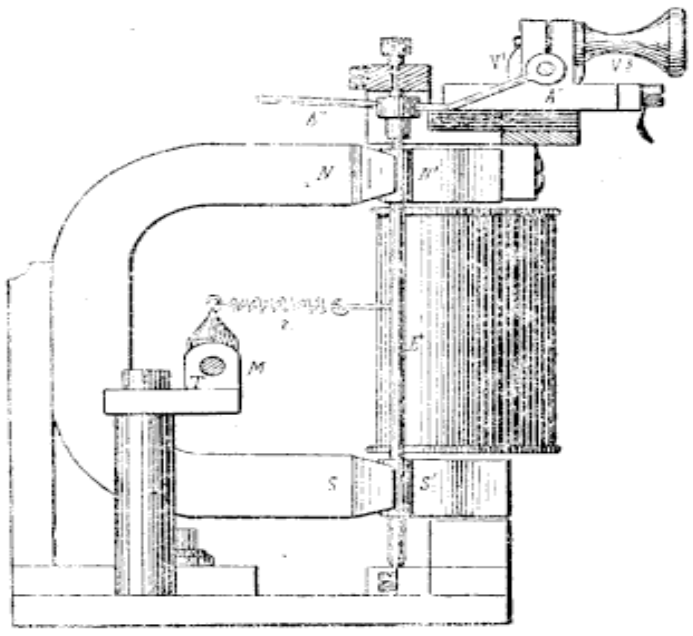


Fig. 229. — Relais Wilcot (profil).

Deux vis de fer doux, VV', traversent, dans des trous taraudés, les saillies C et D et peuvent être enfoncées plus ou moins; enfin, un petit ressort à boudin *r* (fig. 229), est attaché d'un côté à un petit crochet fixé sur l'axe des armatures, de l'autre à une masse en cuivre, M. Celle-ci, par l'intermédiaire d'une tige taraudée T, terminée à gauche par un bouton B (fig. 228), peut être déplacée à volonté, pour les besoins du réglage que nous indiquerons plus loin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TRANSLATEUR D'ARLINCOURT-WILLOT

Le relais Willot, comme nous venons de le voir, n'est pas susceptible d'être réglé pour le coup de fouet Il a été d'abord installé sous le nom de « Translateur d'Arlincourt-Willot »; un relais Willot constituait l'organe translateur, tandis qu'un électro-aimant d'Arlincourt, disposé pour le coup de fouet, était utilisé comme appareil de décharge L'agencement général de la planchette de translation était sensiblement le même que celui du translateur d'Arlincourt (v. fig. 225, p. 387); les seules modifications ou additions, qui méritent d'être citées, sont : deux commutateurs inverseurs, analogues à celui de l'appareil Hughes, et un shunt à chacun des parleurs de contrôle et aux relais d'Arlincourt.

Les commutateurs inverseurs, que nous retrouverons dans le translateur Willot, décrit plus loin, avaient pour objet, comme dans le Hughes, de mettre l'entrée et la sortie du récepteur en communication, respectivement, avec la ligne et la terre, pour recevoir le positif, ou avec la terre et la ligne, dans le cas où l'extrême aurait fait usage du courant négatif comme courant de travail : cela, dans le but de donner à l'un comme à l'autre la même direction dans les bobines et d'en obtenir un effet identique.

Les shunts ont pour but d'offrir aux extra-courants des circuits fermés, dans lesquels ils se développent sans inconvénient : ils évitent, aux points de rupture, les étincelles qui oxydent rapidement les contacts entre lesquels elles jaillissent et nécessitent de fréquents nettoyages. Ceux que comportait le translateur d'Arlincourt-Willot étaient de 2.500 ohms pour les parleurs de contrôle et de 500 pour les relais à coup de fouet.

TRANSLATEUR WILLOT

M. Willot simplifia ensuite son translateur en employant pour la décharge le parleur de contrôle lui-même. L'idée première de ce dispositif, utilisé également par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Rambaud, est due à Schwendler, qui l'imagina pour l'exploitation des lignes télégraphiques aux Indes anglaises. La figure 230 montre le système adapté à une ligne desservie par l'appareil Morse : la pile arrive au butoir de travail du manipulateur, à travers les bobines d'un parleur P, qu'on s'est efforcé de rendre aussi paresseux que possible : son armature, beaucoup plus massive que celle du récepteur, offre une plus grande inertie; le ressort, R, qui la commande, est modérément tendu, afin de rendre moins rapide le rappel au repos après l'attraction des noyaux; un shunt, S, favorise le développement de l'extra-courant de rupture, qui, au lieu de produire une étincelle, prolonge l'action du courant principal et retient plus longtemps l'armature abaissée, comme si la rémanence était augmentée; enfin, l'armature porte un petit ressort, qui, à l'état de repos, se trouve très près du butoir de travail, T; ce ressort vient, par suite, au contact du butoir T, bien avant que l'armature soit complètement abaissée et y reste presque jusqu'à ce qu'elle soit revenue tout à fait au repos; l'armature du parleur est reliée à la terre, tandis que le butoir T communique avec le plot de repos du manipulateur.

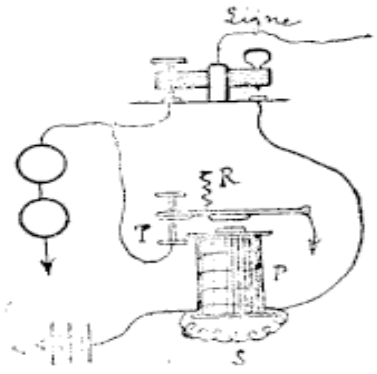


Fig. 230.

Lorsqu'on abaisse celui-ci, le courant, pour passer sur la ligne, traverse le parleur, dont l'armature est attirée, ce qui a pour résultat de relier à la terre le plot de repos : tant que dure l'émission, cette terre, ainsi amenée, ne produit aucun effet; mais dès que le manipulateur est abandonné, il revient immédiatement au repos; l'armature, au contraire, par suite de son inertie et de l'action de l'extra-courant, ne reprend que plus tard sa position première : la ligne se trouve donc, pendant un certain temps, reliée directement à la terre, et se décharge par la butée de repos du manipulateur, le butoir T du parleur et l'armature.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le même dispositif peut être adapté à une translation comme le montre la figure 231 : les deux relais, R et R', sont installés à la façon Froment; les parleurs P et P', ont leur butoir de travail relié au butoir de repos du relais qui leur correspond. Lorsqu'un courant arrive de la ligne nº 1, par exemple, il passe de l'armature du relais R, dans le butoir de repos et, de là, dans les bobines du relais R', dont l'armature est actionnée : le circuit de la pile est fermé à travers le parleur P', et l'armature de ce dernier est attirée pendant que le courant est envoyé sur la ligne nº2. L'abaissement de l'armature du parleur P' a pour effet de relier à la terre le butoir de repos du relais R'; lorsque l'armature de ce dernier revient au repos, celle du parleur, pour toutes les raisons indiquées plus haut, est encore sur travail, pendant un temps court mais suffisant pour que la ligne nº2 se décharge directement à la terre, au lieu de le faire à travers les bobines du relais R.

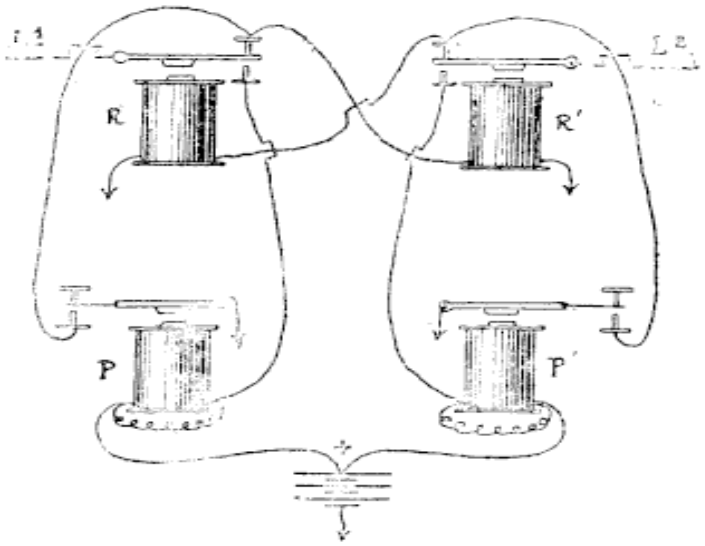


Fig. 231.

Parleur de décharge. — Le parleur Willot ressemble assez à un « sounder » anglais; il est approprié au double but qu'il a à remplir : son armature et ses noyaux comportent une masse de fer doux plus grande que dans les systèmes ordinaires. L'armature (fig. 232) est supportée par un levier en laiton, L, qui peut pivoter sur une console de même métal; les déplacements du levier L sont limités par deux butoirs, constitués chacun par une vis et une contre-vis, la seconde immobilisant la première, lorsqu'elle est réglée à la position qui convient. A sa partie opposée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au pivot, le levier L porte une entaille, dans laquelle est fixé un ressort-lame, très flexible, *r*, garni d'une goutte d'argent, à l'extrémité qui se trouve en face du butoir

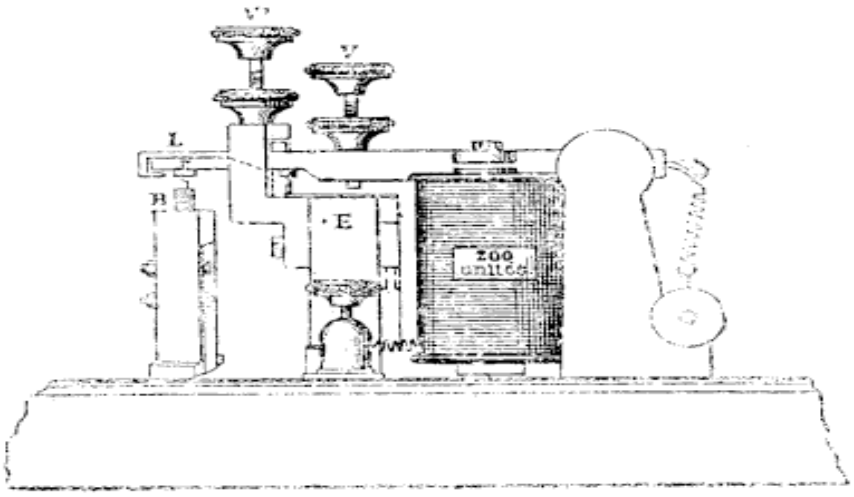


Fig. 232. — Parleur Willot.

de travail, B, ce dernier est également argenté. Comme dans le dispositif Schwendler, décrit plus haut, le ressort *r* reste au contact de la vis de butée pendant presque tout le temps que l'armature s'éloigne ou s'approche des noyaux; c'est par son intermédiaire que se fait la mise à la terre, après chaque émission du relais translateur.

Le levier L est, vers sa partie médiane, traversé par une vis, V, qu'on règle de manière qu'elle vienne, lors de l'abaissement, frapper contre une sorte d'enclume métallique, E, puis qu'on immobilise en serrant la contre-vis. Enfin, un ressort à boudin, dont la tension est réglée à l'aide d'un bouton, ramène le levier au repos, après chaque attraction de l'armature.

Installation du translateur Willot. — Le translateur Willot est plus simple, comme agencement des communications électriques, que le d'Arlincourt, en ce sens qu'il comporte seulement deux relais Willot et deux parleurs de décharge.

La planchette (fig. 233) est montée d'après le schéma

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que nous avons donné plus haut (fig. 231); nous y trouvons, en plus, deux manipulateurs Morse, intercalés chacun sur l'une des lignes, et destinés à la conversation avec les extrêmes; deux commutateurs inverseurs permettent, comme au Hughes et au translateur d'Arlincourt-Willot, de recevoir indifféremment le positif ou le négatif.

Réglage. — Les contacts des butoirs et des armatures devront être périodiquement nettoyés, à l'aide de papier émeri très fin (double zéro); on aura soin de passer le papier

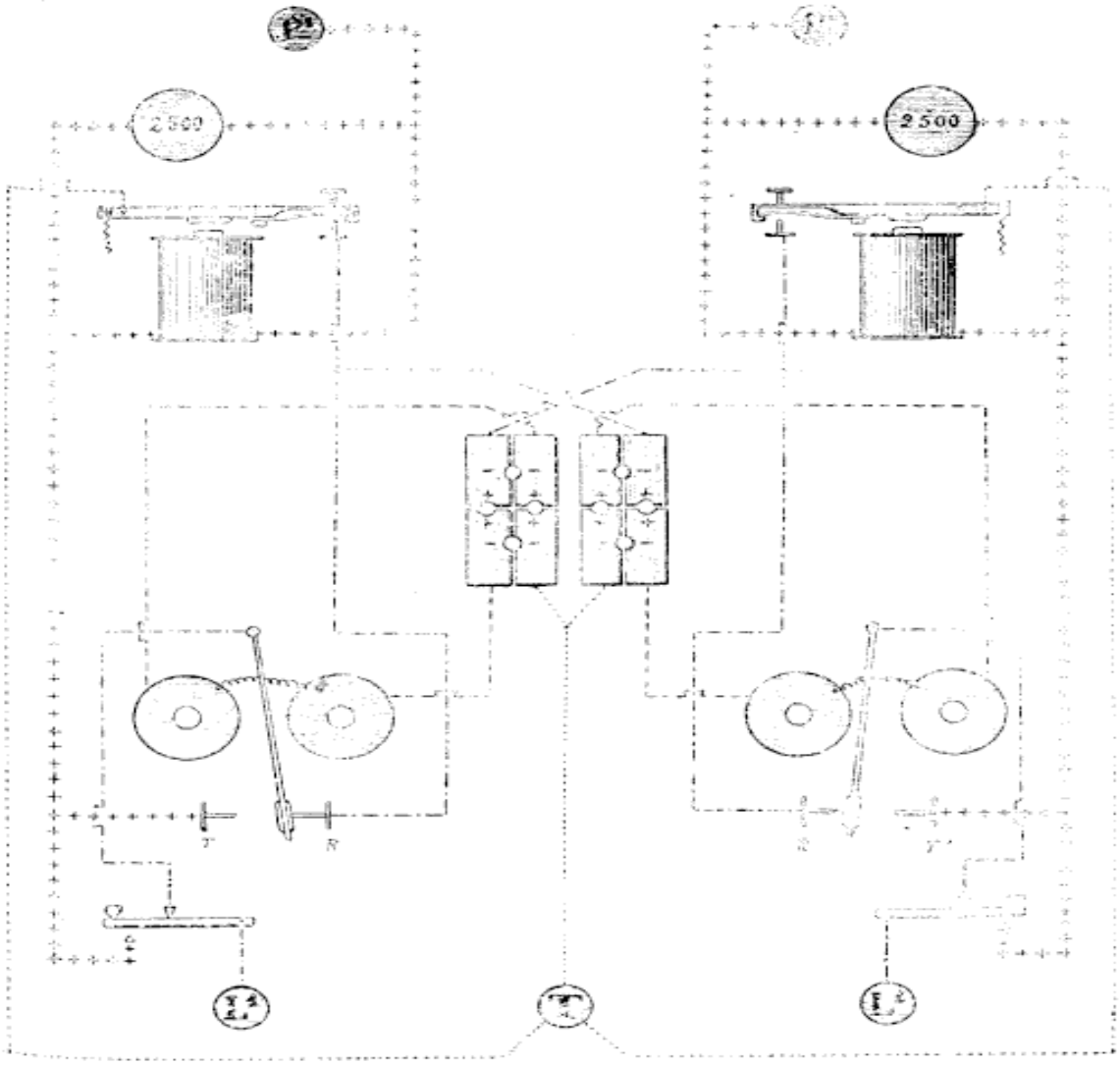


Fig. 233. — Translateur Willot. Communications électriques

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les deux sens, afin de faire tomber la poussière d'émeri qui pourrait rester sur les contacts et nuire à la bonne communication électrique : on assurera, en outre, aux armatures le maximum de liberté sur leurs pivots, puis on procèdera au réglage proprement dit.

1° *Réglage du relais translateur.* — Lorsqu'un relais sera mis en service pour la première fois, on en vérifiera très soigneusement toutes les parties, notamment les armatures : celles-ci doivent se trouver assez près de l'aimant permanent pour que ce dernier exerce sur elles son action; mais il ne doit pas y avoir contact direct, car les armatures, collées à l'aimant, ne seraient plus libres : une distance de $1\,^{m}/_{m}$ à $1\,^{m}/_{m}$ 1/2 assure une polarisation convenable, tout en laissant aux armatures la mobilité nécessaire. On enfoncera dans les saillies les vis de fer doux, jusqu'à ce que leurs extrémités dépassent d'environ un demi-millimètre. Ce réglage a pour but, comme nous l'avons dit (p. 390), d'équilibrer l'action de la rémanence sur les deux armatures : il est donc fait une fois pour toutes.

Le réglage périodique consiste dans le placement des butoirs de l'appendice des armatures et dans la tension convenable du petit ressort à boudin. On ramènera d'abord ce dernier dans la ligne médiane, c'est-à-dire à zéro, puis on déterminera la position de la vis butoir de repos, qui est, pour les deux relais, celle qui se trouve vers l'intérieur de la planchette (v. fig. 233). On opérera de la façon suivante : après avoir dévissé les deux butoirs, de manière que l'index puisse rendre un très grand jeu entre eux, amener celui-ci contre le butoir de travail (vis extérieure TT') et enfoncer lentement le dit butoir, jusqu'à ce que l'index aille, de lui-même, se jeter contre le butoir de repos : cela indiquera qu'on vient de dépasser la médiane, où les attractions de chaque côté sont égales, et que celle qui s'opère du côté du repos est prépondérante. On reviendra alors légèrement en arrière, on immobilisera la vis-butoir de travail à l'aide de sa contre-vis, puis on enfoncera le butoir de repos jusqu'à ce qu'on trouve à l'index le minimum de jeu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le relais, dans ces conditions, sera réglé « à l'indifférence »; les deux butoirs se trouvant à égale distance de la médiane, les armatures attireront toujours plus fort les pièces polaires du côté desquelles elles se trouveront et l'index restera indifféremment sur le butoir où on l'amènera avec le doigt. Il faudrait, si l'on en restait sur ce réglage, employer les deux sens de courant (positif et négatif) pour placer l'index, soit sur l'un, soit sur l'autre butoir. Le ressort à boudin remplacera le courant de repos : on le tendra, avant de mettre le relais en ligne, jusqu'à ce que l'index amené sur le butoir de travail, retourne franchement au repos, dès qu'on l'abandonne.

La tension du ressort ne peut, en réalité, se régler convenablement qu'en ligne; ce réglage se réduit à celui d'un récepteur Morse : si les signaux ont tendance à se coller, on tend le ressort; s'ils sont maigres ou manquent , on détend; cela, lentement et par petites quantités à la fois, pour éviter les tâtonnements et s'arrêter au point juste.

En résumé, les soins à donner au relais Willot se réduisent à ceci : assurer la liberté des armatures et la propreté des contacts électriques; placer convenablement les butoirs et régler le ressort d'après la transmission. Il ne doit pas se produire d'étincelle entre l'index et le butoir de travail du relais, au moment de la rupture du circuit; si ce cas se produisait, cela aurait pour effet d'amener l'oxydation rapide de contacts et de nuire à la bonne communication électrique. Il faudrait en rechercher la cause dans un isolement du shunt, qui relie l'entrée et la sortie des bobines du parleur de contrôle, pour la recomposition de l'extra-courant direct, soit qu'un fil, entrée ou sortie, se trouve détaché, soit qu'il y ait rupture dans le circuit même : il faudrait alors procéder à une vérification de la bobine du shunt et la réparer, le cas échéant.

2° *Réglage du parleur*. — Le parleur peut, également, être réglé avant la mise en ligne. L'axe qui supporte le levier de l'armature doit osciller librement et sans jeu entre les vis qui lui servent de pivots. L'armature, lorsqu'elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est attirée, doit être aussi rapprochée que possible des noyaux, sans, toutefois, venir au contact direct : on obtiendra ce réglage en enfonçant plus ou moins la vis dont la queue frappe sur l'enclume.

On effectuera le réglage du parleur en opérant de la façon suivante : dévisser suffisamment les contre-écrous, ainsi que la vis V et V' (fig. 232). Amener à la main l'armature en contact avec les noyaux de l'électro-aimant, visser ensuite la vis V, jusqu'à ce qu'elle vienne buter sur l'enclume, E, continuer à enfoncer jusqu'à ce que l'armature se trouve éloignée de $1\frac{m}{m}$ environ, de l'extrémité des noyaux. Tourner ensuite la vis V' jusqu'à ce que le levier au repos soit à 5 ou $6\frac{m}{m}$ de sa position d'abaissement. Le jeu de l'armature étant ainsi réglé, serrer les contre-écrous de V et de V', pour les empêcher de se déplacer ultérieurement.

Il ne reste plus à régler que la vis B, ou butoir de travail, par rapport au petit ressort-lame de mise à la terre : il ne doit évidemment pas y avoir contact au repos, entre ces deux pièces, mais le jeu à laisser entre elles doit être très minime; un demi-millimètre suffit; tourner la vis B, jusqu'à ce que la position convenable soit obtenue et serrer ensuite le contre-écrou.

Lorsque le courant de l'un des postes extrêmes ne sera pas enregistré dans le relais, on vérifiera si les fiches du commutateur inverseur sont bien dans la position qui convient, d'après le pôle qu'envoie le correspondant; on s'assurera que le petit ressort-lame du parleur ne touche pas en permanence la vis B, ce qui aurait pour effet de mettre la ligne directement à la terre.

TRANSLATION ET DÉCHARGE SARTHOU

Nous avons indiqué (p. 368) deux causes principales de déformation des signaux à l'arrivée, au Morse : 1° l'élévation de la courbe d'intensité après que le courant a produit son effet utile, qui est l'attraction de l'armature; 2° l'accroissement de l'aimantation, non seulement comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résultat de cette augmentation du courant, mais encore par suite de la proximité plus grande entre l'armature et les noyaux : la force attractive augmente donc, juste au moment où il faut le minimum d'effort pour maintenir l'armature abaissée. De là, un relèvement d'autant plus tardif que cette double action est plus importante.

M. Sarthou, Commis à Lyon-Central, s'inspirant de ces considérations, a réalisé un ingénieux dispositif qui tend

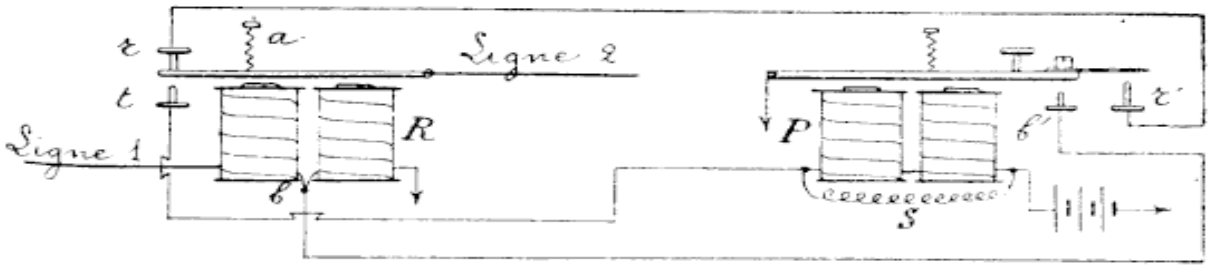


Fig. 234. — Translation Sarthou.

à atténuer, sinon à supprimer, les inconvénients dont il s'agit. Sans anticiper sur la décision du Comité Technique, qui statuera en dernier ressort, nous croyons intéressant de décrire ici le système de M. Sarthou, qui, en quelques mots, consiste à mettre en court-circuit la moitié de l'électro-aimant récepteur, dès que l'armature est abaissée. Il en résulte un accroissement moins grand de l'aimantation et, par suite, une diminution de l'action retardatrice de l'extra-courant de rupture et du magnétisme rémanent.

L'ensemble de la planchette est agencé, comme les précédents, d'après le genre Froment ; la figure 234, ci-dessus, ne montre qu'un côté ; l'autre est en tout semblable. Le relais R, *non polarisé*, a son armature maintenue sur le butoir de repos, r, par un ressort antagoniste a ; le butoir de travail, t, est relié à une pile à travers le parleur P, massif et inerte comme dans le Willot, et muni d'un shunt S. Son armature, à l'extrémité opposée au pivot, porte un petit ressort ; lorsqu'elle est actionnée, elle vient s'appuyer sur le butoir b', tandis que le petit ressort arrive au contact de r'. On voit qu'à ce moment, la bobine de droite du relais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouve mise hors circuit, le courant, à sa sortie de celle de gauche, trouvant une issue par la bifurcation b, le butoir b' du parleur et l'armature reliée à la terre.

A la fin de l'émission, le parleur étant réglé comme dans le Willot, met à la terre le butoir de travail r du relais, par l'intermédiaire du boutoir r' et du petit ressort.

Décharge. — Le même dispositif, légèrement modifié, peut être intercalé dans une ligne de grande capacité, comme simple instrument de décharge, en un poste de coupure quelconque, non muni d'une translation. L'électro-

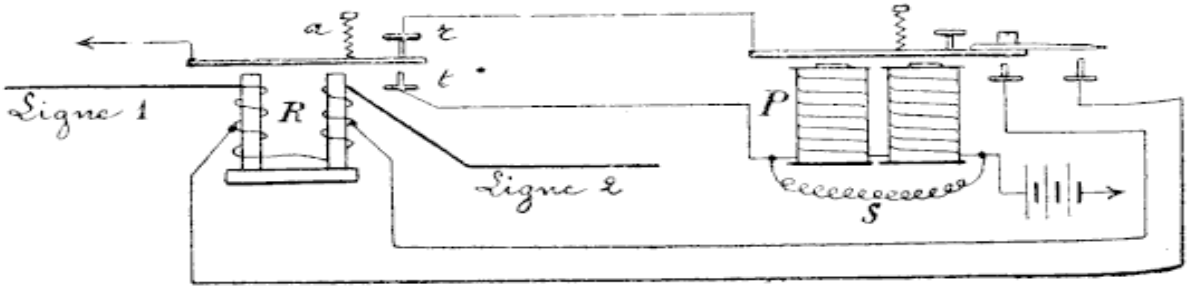


Fig. 235. — Décharge Sarthou.

aimant R (fig. 235), non polarisé et embroché sur la ligne, est actionné par tous les courants qui la parcourent; son armature est reliée à la terre; ses butoirs communiquent respectivement : celui de travail, t, à l'une des bornes du parleur P, celui de repos, r, à l'armature du même parleur. Lorsqu'un courant parcourt la ligne, l'armature de R vient fermer le circuit d'une pile locale à travers le parleur P, dont l'armature est actionnée à son tour; dès que cette dernière arrive au contact de ses deux butoirs, la moitié de chaque bobine de l'électro R se trouve en court-circuit. Ce dernier peut ainsi revenir au repos dès que la courbe d'intensité commence à décroître; aussitôt que l'armature arrive contre son butoir r, les deux côtés de la ligne se trouvent mis à la terre, chacun à travers une demi-bobine de l'électro R. Le sens des deux courants de décharge étant inverse, l'un par rapport à l'autre, ils sont sans action sur R. Lorsque le parleur revient au repos, la ligne est rétablie normalement et peut recevoir un nouveau signal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TRANSLATEUR ROBICHON

Relais Baudot. — Le translateur de M. Robichon comporte deux relais Baudot, modifiés pour en rendre le réglage simple et commode, dans ces conditions particulières d'utilisation; deux parleurs de décharge, d'un modèle spécial, complètent l'installation.

Décrivons, tout d'abord, le relais Baudot ordinaire : deux aimants permanents en fer à cheval, F (fig. 236), réunis par des plaques polaires, P, et fixés au massif M par une vis, V^1, servent à polariser l'armature; les deux bobines, E, de l'électro-aimant, sont placées entre les deux branches du faisceau magnétique. Les plaques polaires sont traversées par les vis V, terminées, à leur partie supérieure, par une pointe en acier trempé : ce sont les vis pivots de l'axe AB de l'armature. Cette dernière, A', est placée perpendiculairement à son axe et fixée à l'aide d'une vis, qui taraude également dans la partie inférieure de l'index, I, mobile entre deux butoirs, dont nous parlons un peu plus loin. L'armature surplombe les extrémités des noyaux de l'électro-aimant et peut se déplacer dans un plan vertical, à la façon d'un fléau de balance; la suspension de l'axe, extrêmement légère, est réalisée au moyen de deux chapes en acier trempé, incrustées dans l'épaisseur de l'axe, à proximité de ses extrémités; ces chapes reposent chacune, sur

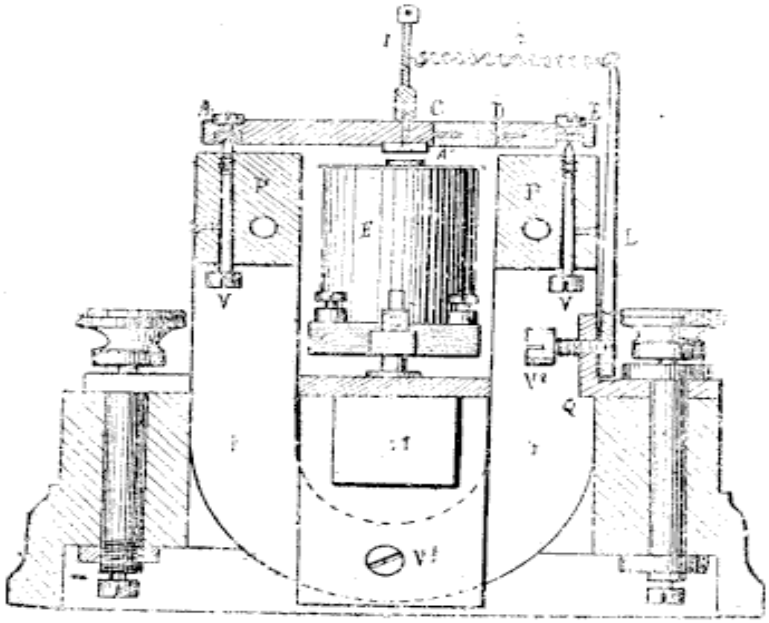


Fig. 236. — Relais Baudot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'une des pointes-pivots portées par les vis V. L'une des chapes a la forme d'un cône : on l'appelle la *chape-point*; l'autre est constituée par une sorte de rainure en forme de V renversé, dont l'arête est dirigée dans le sens de l'âme de l'axe : c'est la *chape-ligne*. La première n'offre qu'un point à l'appui sur la pointe-pivot : le sommet de son cône; la seconde, au contraire, peut, sans provoquer de frottement anormal, présenter un point quelconque de son arête à la pointe qui doit la supporter. Cette disposition assure la mobilité de l'axe de l'armature sur ses points de suspension, tout en lui imposant une stabilité absolue dans les positions qui lui sont données; elle évite, en outre, d'avoir à ajuster les deux pointes à une distance rigoureusement égale à celle qui séparerait les sommets des deux cônes, si on faisait usage de deux chapes-point.

L'armature, se trouvant à égale distance des deux pôles de l'aimant permanent, à la partie médiane de l'axe, ne serait pas polarisée si ce dernier n'était divisé, au point de vue magnétique, en trois parties : AC et DB en acier, CD en laiton; celle-ci forme diamagnétique entre les deux parties extrêmes qui, elles, constituent, au point de vue de la distribution du magnétisme, de véritables prolongements des pôles de l'aimant permanent (fig. 236 et 237). Si le bout AC est placé en regard du pôle sud, l'armature elle-même, qui forme, en quelque sorte, l'épanouissement du point C, se trouve être aimantée d'*un bout à l'autre*, d'un pôle sud. L'attraction exercée par le pôle nord sur la partie DB assure la stabilité de l'axe sur la pointe située de ce côté.

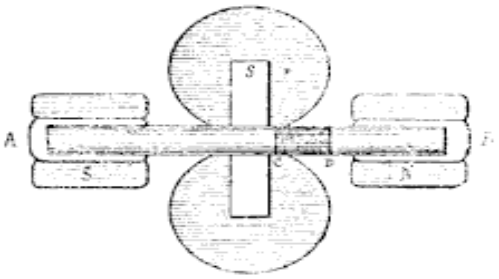


Fig. 237

Les deux bobines constituent en réalité deux électro-aimants droits, indépendants au point de vue magnétique; elles sont montées de façon à pouvoir être déplacées individuellement, dans le sens vertical, pour le réglage de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

distance qui doit séparer les noyaux de l'armature. Dans ce but, les noyaux en fer doux, N, (fig. 238) sont prolongés, au-dessous des bobines, par des tiges cylindriques en laiton, de même section, qui pénètrent dans deux trous de forme semblable, pratiqués dans le massif M, et peuvent y glisser à frottement doux. Les deux bobines sont ainsi guidées par les tiges T; elles sont placées et maintenues à la hauteur qui convient par une liaison réglable entre le massif et un bras de fer doux, B, disposé perpendiculairement au noyau de chaque bobine et formant à chacune d'elles une sorte de demi-culasse. Cette liaison est obtenue au moyen d'une tige verticale, T', dont la partie supérieure est taraudée et se visse à travers les bras de fer doux, B, tandis que sa partie inférieure pénètre dans la platine-socle du massif; un doigt, pénétrant dans la gorge annulaire que porte la tige T, lui permet de tourner, mais l'empêche de s'élever ou de s'abaisser. On rapprochera la bobine de l'armature en faisant tourner la tige dans le sens des aiguilles d'une montre, et inversement.

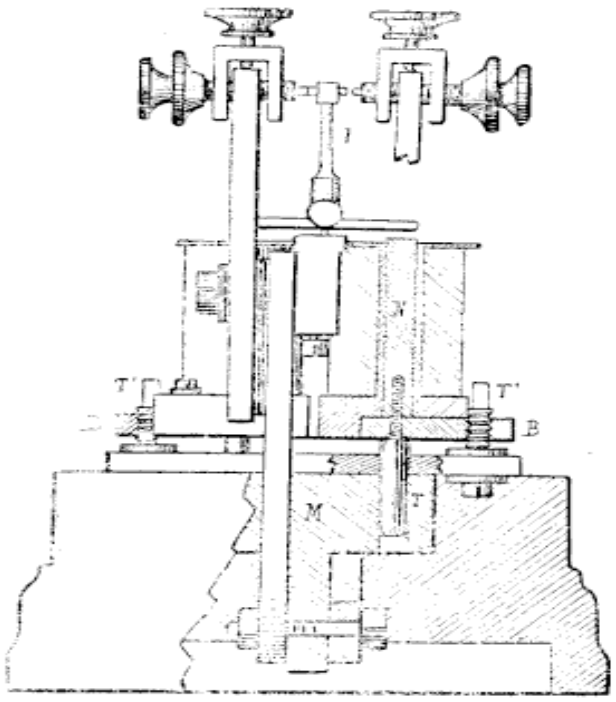


Fig. 238. — Relais Baudot.

L'index I, solidaire de l'armature et de son axe, est terminé, à sa partie supérieure, par une surface garnie de platine, pour assurer une bonne communication électrique entre le massif et les butoirs, également platinés. Ces derniers, en effet, en même temps qu'ils limitent l'amplitude des mouvements oscillatoires de l'index, servent, en outre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme dans les relais que nous avons décrits plus haut, à fermer ou à interrompre un circuit, suivant que l'index s'appuie sur l'un ou sur l'autre. A cet effet, les platines en laiton, qui supportent le butoirs, sont isolées électriquement du reste du massif, par une plaquette d'ébonite: l'écrou et la tête de vis qui les fixent sont également entourés d'ébonite.

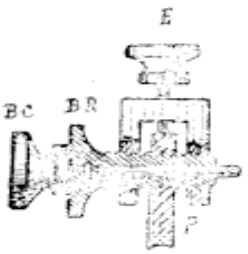


Fig. 239.

Chaque butoir est constitué par deux boutons, l'un BR (fig. 239), ou *bouton de réglage*, vissé dans la platine P et susceptible d'être immobilisé par un étrier, E : l'autre, BC, ou *bouton de contact*, vissé à fond sur le premier. Ce dispositif a pour but de permettre le nettoyage du bouton de contact sans modifier le réglage du butoir : l'étrier E étant serré à bloc, on peut retirer le bouton de contact BC, sans changer la position du bouton de réglage BR et, lorsque l'on replacera le premier, il suffira de le visser complètement pour qu'il se retrouve, lui-même, dans les conditions où il était précédemment.

La figure 236 nous montre, en outre, un levier, L, placé sur le côté du massif, articulé, au moyen d'une vis V^2, sur une équerre Q : la vis, en s'enfonçant, comprime un petit ressort à boudin, qui a pour but de rendre l'articulation un peu dure. A la partie supérieure de ce *levier de réglage* se trouve un ressort à boudin en laiton, *r*, dont l'extrémité opposée est accrochée à l'index I. En inclinant le levier à droite ou à gauche, on favorise le déplacement de l'index et de l'armature vers l'un ou l'autre butoir : il sert donc à parfaire le réglage, en même temps qu'il concourt à assurer la communication électrique entre l'armature et le massif de l'appareil.

Le relais est supporté par un socle en bois portant cinq bornes, auxquelles on attache les communications venant de l'extérieur. Ces bornes, à l'intérieur du socle, correspondent respectivement à l'entrée E (fig. 240) et la sortie S des bobines, au butoir de travail T, au massif du re-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lais M et au butoir de repos R. Elles sont implantées dans le socle comme le montre la figure 236.

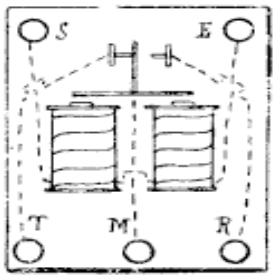


Fig. 240.

Fonctionnement du relais. — Les signaux enregistrés par le relais pourront comporter ou non le courant de repos; il en résultera nécessairement, dans l'un ou l'autre cas, un réglage différent des butoirs ou de la hauteur des bobines, ainsi que nous le verrons au paragraphe « Réglage ». Nous supposerons momentanément ces conditions réalisées, pour examiner seulement le fonctionnement proprement dit.

1° *Fonctionnement avec courant de repos.* — Dans les installations à courant de repos, telles que le Baudot, les noyaux des deux bobines seront exactement à la même hauteur, les butoirs seront placés à égale distance de la verticale médiane et rapprochés de manière à laisser à l'index le minimum de jeu (1/100 de millimètre est généralement suffisant) : le relais sera réglé *à l'indifférence*, c'est-à-dire n'aura pas plus tendance à appuyer son index sur un butoir que sur l'autre. Quel que soit le sens du courant qui parcourra les bobines, on se trouvera toujours dans ces conditions-ci : l'armature présente aux deux noyaux un pôle unique, tandis que ceux-ci seront toujours aimantés l'un sud et l'autre nord : il y aura répulsion des pôles de même nom, attraction de ceux de noms contraires; l'armature se trouvera dans la même situation qu'une balance dont on soulèverait l'un des plateaux pendant qu'on appuierait sur l'autre : l'armature basculera donc, sous la double action des deux pôles temporaires. Si, par exemple, un courant positif développe, à l'extrémité du noyau n° 1, un pôle nord (fig. 241) et à celle du noyau n° 2 un pôle sud, l'armature sera repoussée à droite et attirée à gauche; l'index quittera le butoir de droite pour venir s'appuyer sur celui de gauche.

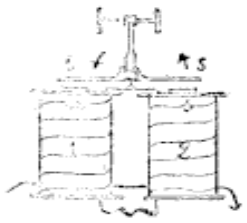


Fig. 241.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'armature, par suite du réglage à l'indifférence, restera sur ce dernier butoir, jusqu'à ce qu'un courant négatif traverse les bobines : la direction étant inverse de celle du positif, les polarités développées seront également inverses; l'armature, repoussée à gauche et attirée à droite, basculera de ce dernier côté et l'index reviendra s'appuyer sur le butoir de droite, où il restera, et ainsi de suite.

2° *Fonctionnement avec un seul sens de courant.* — Nous venons de voir que, le relais étant réglé à l'indifférence, l'index reste sur le butoir où l'a placé le dernier courant reçu. Ce réglage ne pourra donc être usité lorsque le relais devra enregistrer des transmissions effectuées avec un seul sens de courant, ce qui est le cas pour les translations qui nous occupent; il faudra alors que l'armature se trouve toujours plus près du noyau situé du côté du butoir de repos, afin que, dès la cessation du courant, l'attraction de ce côté soit toujours prépondérante et ramène l'armature, comme le ferait un ressort antagoniste. On obtiendra ce résultat, soit en déplaçant les deux butoirs, de manière que celui de repos se trouve plus loin de la verticale médiane que celui de travail (fig. 242), soit en élevant l'une des bobines et en abaissant l'autre (fig. 243), les butoirs restant placés comme pour le réglage à l'indifférence. Le fonctionnement sera le même dans l'un comme dans l'autre de ces deux cas.

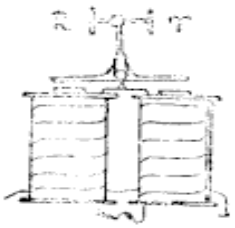


Fig. 242.

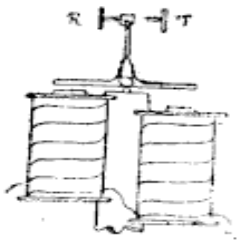


Fig. 243.

Modification Robichon. — Le réglage dont nous venons de parler ne serait guère praticable, avec le relais Baudot tel que nous l'avons décrit : il ne faudrait pas songer surtout à employer celui que représente la figure 243: la modification de la hauteur des bobines exigeant l'emploi d'une clef à carré et devant se faire séparément pour chacune d'elles; le réglage par les butoirs nécessiterait la manœuvre des deux à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fois, afin de conserver à l'index son minimum de jeu ou pour éviter de le bloquer.

Dans le but de réduire à une seule manœuvre l'opération du réglage, pour les transmissions à un sens unique de courant, M. Robichon a imaginé un dispositif, qui rend très pratique l'emploi du relais Baudot dans ce cas particulier : les deux bobines sont placées de chaque côté du point d'appui d'un levier du premier genre, comme les deux plateaux d'une balance Roberval, de telle sorte que toute action tendant à faire monter l'une oblige forcément l'autre à descendre : on peut alors commodément appliquer le réglage (fig. 243) qui consiste à faire varier la distance entre l'armature et chacun des noyaux. Voici comment ce résultat a été atteint : le massif M (fig. 244) a été raccourci de manière à laisser dépasser la partie inférieure des tiges cylindriques, qui guident les déplacements des bobines B; les tiges filetées, qui, dans le relais ordinaire, font monter ou descendre les demi-culasses C et C', ont été remplacées par des tiges lisses, servant seulement de guides, G. Enfin, deux ressorts à boudin, R et R', tendent à abaisser les bobines, comprimés qu'ils sont entre le massif M et la tête qui termine chaque tige; sous cette action, les dites tiges viennent s'appuyer sur les vis de butée V et V', portées par un levier LL' : celui-ci étant mobile autour du point O, on voit que, si l'on abaisse la branche L', par exemple, la bobine de droite suivra le mouvement et le noyau s'éloignera de l'armature; en même temps, la partie L s'élevant, soulèvera la bobine de gauche, en comprimant davantage

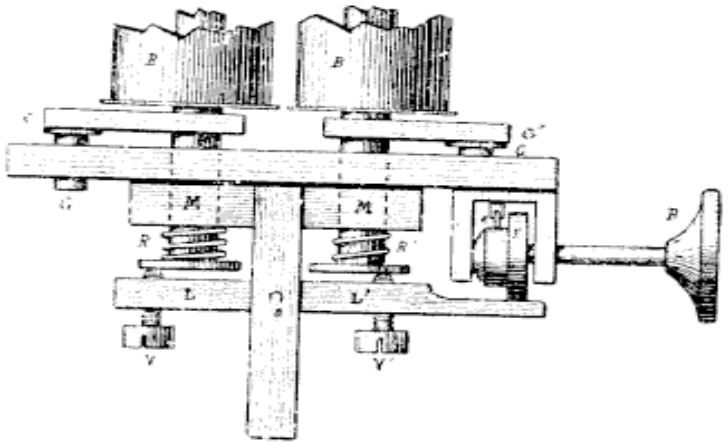


Fig. 244

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le ressort R : celui-ci est une peu plus fort que l'autre, R', afin que, lorsqu'on cessera la pression sur L', le levier soit ramené à la position du repos, malgré l'opposition du ressort R', qu'il devra, pour cela, comprimer.

L'abaissement plus ou moins grand du levier LL' s'opérera à l'aide d'un excentrique E, manœuvré par un bouton B, et que nous reportons ci-contre, vu de face (fig. 245). Lorsque cet excentrique présente au levier son plus grand rayon, les deux noyaux se trouvent exactement à la même hauteur et le relais peut être réglé à l'indifférence; dès qu'on tourne le bouton B dans le sens des aiguilles d'une montre, le levier bascule, la bobine de gauche s'abaisse pendant que celle de droite est soulevée : lorsque ce mouvement a atteint son maximum, c'est-à-dire dès que le plus petit rayon de l'excentrique appuie sur le levier, le mouvement est arrêté par la rencontre de ce dernier et de la partie qui limite le grand rayon. Lorsqu'on ramène le bouton à zéro, il importe qu'on ne puisse dépasser ce point, ce qui aurait pour effet de permettre au levier de remonter jusqu'à la position de déplacement maximum des bobines; dans ce but, le manchon placé derrière l'excentrique porte un petit ergot, *e* (fig. 244), qui, à ce moment, vient rencontrer une butée disposée sur son passage; on ne peut alors manœuvrer le bouton B que d'un tour dans chaque sens. Une flèche, tracée sur la face antérieure du bouton, suivant un diamètre, permet de juger, d'après la position, qu'elle occupe par rapport à la verticale, de l'importance du déplacement des bobines.

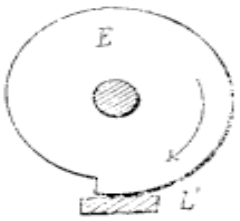


Fig. 245.

Le reste du relais est en tout semblable au type ordinaire, sauf toutefois pour ce qui concerne l'arrivée des communications venant de l'extérieur : sous chaque borne est serrée une lame en laiton, L (fig. 246); la place que doit occuper le relais sur la planchette est délimitée par deux réglettes en ébonite, R, traversées, l'une par deux, l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par trois plots P, dont l'extrémité émerge à l'intérieur du rectangle figuré par les deux réglettes; les plots sont disposés de telle sorte que, lorsqu'on pose le relais, chacune des lames L vient s'appuyer sur l'un d'eux; ceux-ci reçoivent une communication électrique convenable, par l'intermédiaire d'une vis, V, traversant la planchette et sous la tête de laquelle un fil peut être serré : ce dispositif permet le remplacement rapide d'un relais défectueux, sans qu'on soit obligé de détacher, puis de rattacher les communications; ces dernières, en outre, groupées et conduites sous la planchette, que quatre pieds éloignent suffisamment de la table qui la supporte, ne risquent pas de se détériorer ni de se rompre, puisqu'on n'a jamais besoin de les toucher.

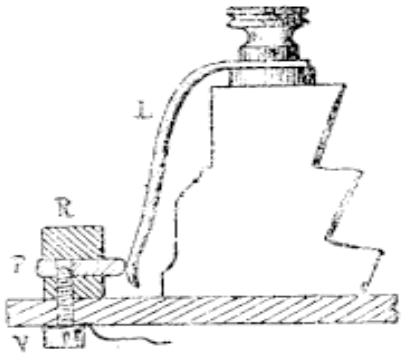


Fig. 246.

Parleur de décharge. — Comme dans le translateur Willot, c'est le parleur de contrôle qui est utilisé pour la décharge de la ligne (v. p. 394); il réunit donc toutes les conditions d'inertie mécanique et magnétique, ainsi que de self-induction, qui sont des qualités, dans ce cas particulier d'utilisation. Le parleur Robichon est constitué par un électro-aimant boiteux E (fig. 247); le fil est enroulé sur une carcasse en buis, C, à l'intérieur de laquelle passe le noyau de f r doux; sur les extrémités du dit noyau sont fixées deux joues de même métal, J et J'; cette dernière supporte l'armature, A, également en fer doux, articulée en O, et qui forme ainsi le prolongement du noyau de l'électro-aimant. Sur l'armature est monté un appendice, A*p*, en bronze, très massif, et dont le jeu est limité par deux butoirs, BR et BT, respectivement butoir de repos et butoir de travail. Solidaire de l'appendice A*p*, une équerre en bronze, E', porte un ressort-lame en acier, terminé par une partie argentée, *r*; à l'état de repos, l'extrémité de ce ressort se trouve à une très petite distance du bout, égale-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

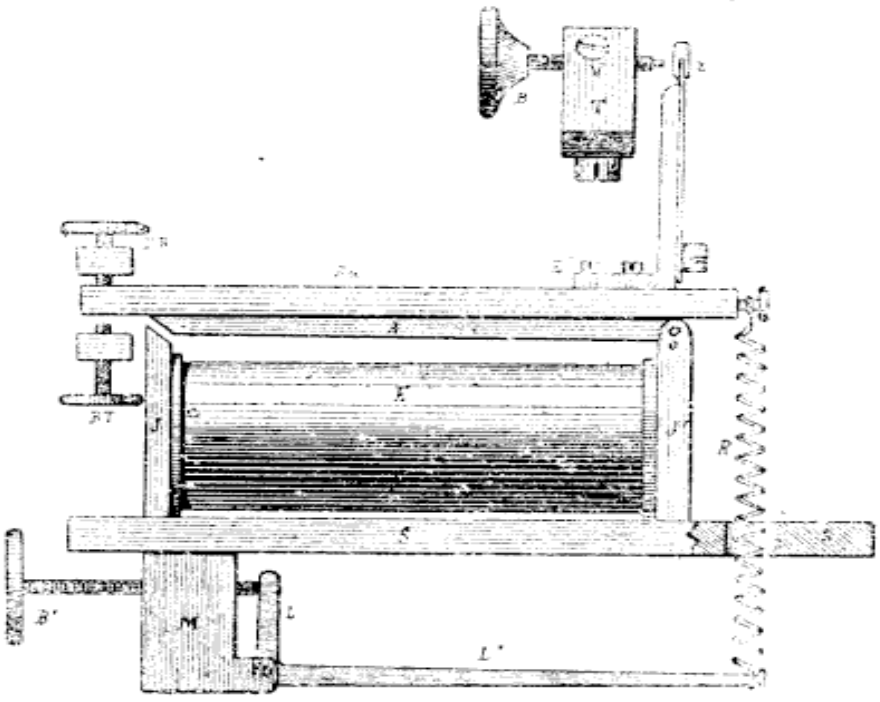


Fig. 247. — Parleur Robichon.

ment argenté, de la vis de contact, B. taraudant dans une traverse T, isolée du massif par une plaque d'ébonite : c'est par le ressort et le bouton B que se fera la décharge, le premier communiquant avec la terre et le second avec le butoir de repos du relais qui lui correspond.

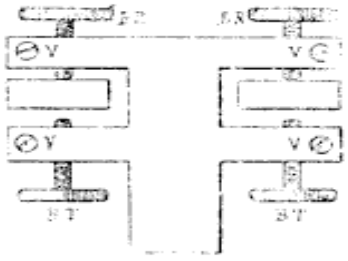


Fig. 248.

L'appendice est maintenu contre le butoir de repos, BR, par un ressort à boudin, R, qui traverse le socle en laiton et vient s'attacher à l'extrémité d'un levier en équerre LL', articulé sur le massif. M, au point de rencontre de ses deux branches ; la tension du ressort est réglée à l'aide d'un autre bouton, B', qui taraude dans le massif M : lorsqu'on visse le bouton B', la branche L du levier est repoussée, l'autre s'abaisse et tend le ressort.

Les deux parleurs de l'installation sont montés sur un même socle, dont les bornes sont agencées comme celles d'un relais : la substitution d'un groupe de parleurs à un autre peut donc s'opérer aussi commodément et aussi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rapidement (v. p. 411). Les boutons de contact, B, ainsi que les butoirs BR et BT (fig. 248 et 249), ne comportent pas de contre-écrous : les pièces qui les portent sont fendues d'un trait de scie, que serre ensuite une vis V : on peut ainsi régler la dureté du mouvement des boutons, de manière que, tout en pouvant être manœuvrés à la main, ils ne soient pas susceptibles de se déplacer ultérieurement, ce qui assure la stabilité du réglage. Ajoutons enfin que le ressort de contact est armé de manière à toujours s'appuyer franchement sur l'équerre E' (fig. 247) dès qu'il quitte le bouton B, ce qui le met dans l'impossibilité de vibrer et permet de réduire au minimum l'intervalle qui, au repos, le sépare de l'extrémité du dit bouton.

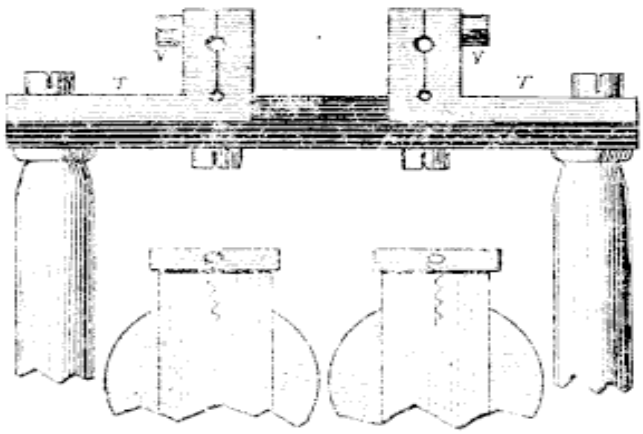


Fig. 249

Planchette de translation. — La planchette du translateur Robichon est montée d'après le même principe que celle du translateur Willot (v. schéma, fig. 231, p. 397) ; elle comporte deux relais Baudot modifiés, un groupe de deux parleurs, deux commutateurs inverseurs des pôles et deux manipulateurs Morse ; ceux-ci sont disposés, à droite et à gauche, parallèlement aux côtés de la planchette, ce qui les rend facilement accessibles pour la manipulation.

Un courant positif, venant de la ligne nº 1, par exemple, suit le trajet ci-après (fig. 250) : borne L^1, axe du manipulateur de gauche, butée de repos de la clef, massif du relais de gauche, butoir de repos, segment « ligne » du commutateur inverseur de droite, entrée du relais de droite, sortie, segment « terre » du commutateur, borne T, terre. L'armature du relais de droite s'est placée sur son butoir de travail : un courant, venant de la borne P^2, à travers le parleur et le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

shunt de droite, passe du butoir de travail dans le massif et se rend sur la ligne nº 2, par le manipulateur de droite et la borne L^2; l'armature du parleur de droite, reliée à la terre, est venue se mettre en communication avec sa vis de contact, qui est reliée au butoir de repos du relais de

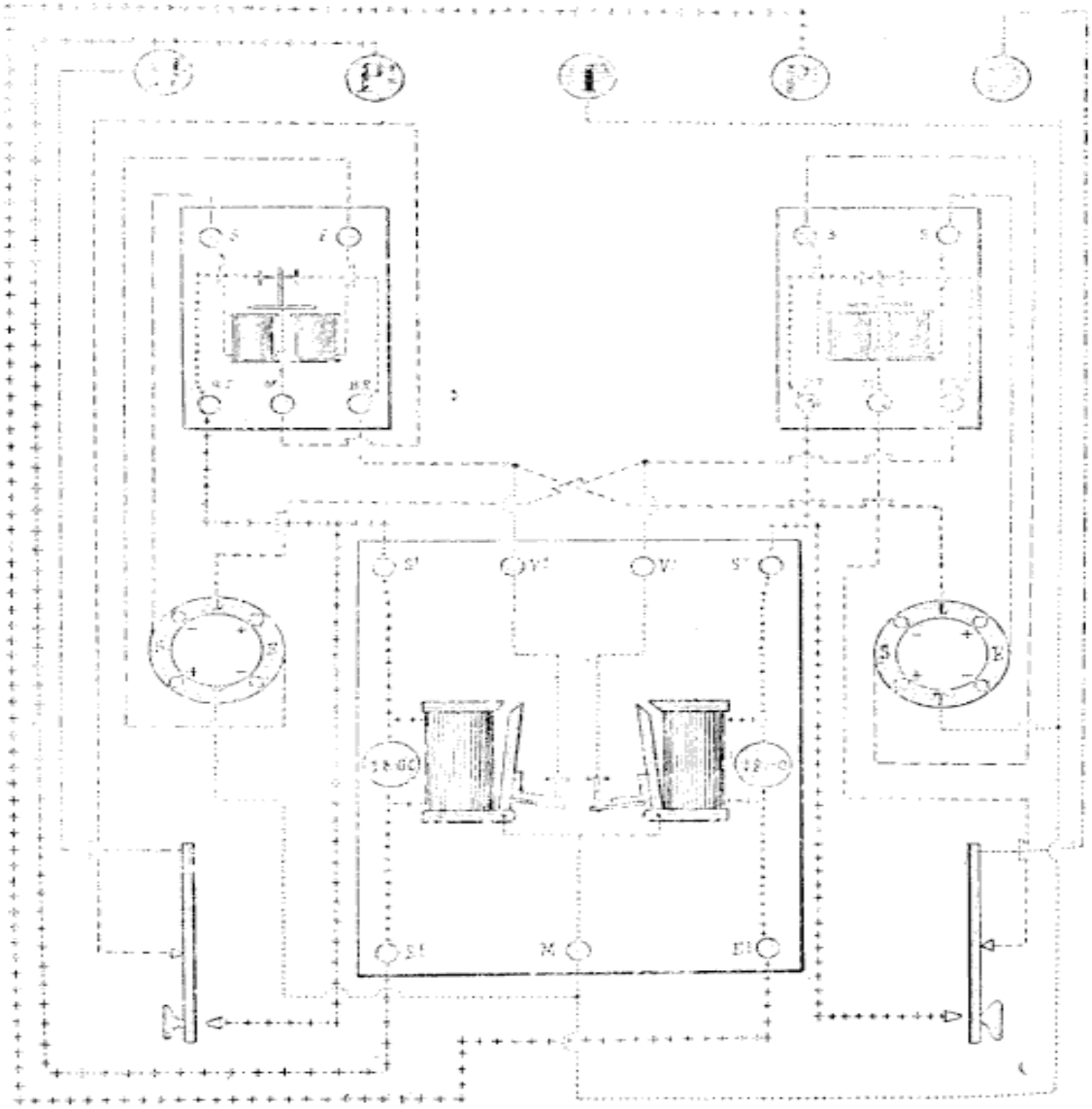


Fig. 250. — Translateur Robichon : communications électriques.

droite : celui-ci, à la fin de l'émission, revenant sur repos plus tôt que le parleur, la décharge s'effectue directement à la terre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un courant arrivant par la ligne n° 2 , passe, de même, par le massif du relais de droite, pour gagner les bobines du relais de gauche, qui fonctionne, ainsi que son parleur, dans des conditions identiques.

Les relais ont une résistance de 100 ohms par bobine, soit 200, au total, pour chacun d'eux ; chaque parleur, est de 200 ohms et shunté de 1.800.

Réglage du relais. — Lorsqu'un relais sera mis en service pour la première fois, il sera bon, avant d'opérer le réglage des butoirs comme nous allons l'indiquer, de procéder à une vérification générale : on n'obtiendra un fonctionnement convenable que si le relais réunit les conditions suivantes :

a) L'axe de l'armature doit se trouver à une petite distance des plaques polaires, mais ne pas reposer directement sur celles-ci : la distance convenable est réglée à l'aide des vis, qui supportent les pointes-pivots, qu'on monte plus ou moins et qu'on bloque ensuite en serrant les contre-vis; on place les pointes à une hauteur telle qu'on puisse faire glisser, avec un léger frottement, une feuille de papier à dépêche entre le bout de l'axe et la plaque polaire : de cette façon, la polarisation de l'armature sera assurée, tout en laissant à l'axe le maximum de mobilité, ce qui ne serait pas réalisé si l'axe pouvait venir se coller sur la plaque polaire. Dans le même ordre d'idées, on s'assurera que l'axe et la plaque sont bien parallèles et que cette dernière, mal montée, ne vient pas toucher l'axe par l'extrémité opposée, c'est-à-dire celle qui se trouve vers l'intérieur. Le cas échéant, on desserrerait avec précaution l'écrou qui fixe les platines, les aimants et la plaque, pour faire pivoter et redresser cette dernière.

b) Les pointes-pivots doivent s'engager dans les chapes de manière que l'une se place exactement au sommet du cône de la chape-point et l'autre vers la partie médiane de l'arête de la chape-ligne. Il importe que la dite arête soit dirigée parallèlement à l'âme de l'axe et que la pointe ne puisse venir toucher la paroi intérieure de la chape, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui ôterait à l'axe sa mobilité. On s'assure de la bonne suspension de l'axe en le soulevant légèrement, du côté de la chape-point, et en essayant de le déplacer dans le sens de la longueur : on doit trouver un petit jeu à droite et à gauche. Dans le cas où ce jeu n'existerait que d'un côté, on déplacerait les plaques polaires dans le sens convenable; à cet effet, les trous dans lesquels passent les écrous qui les fixent sont allongés, ce qui permet, en desserrant les dits écrous, de rapprocher les plaques ou de les éloigner l'une de l'autre, d'une petite quantité. — Les pointes doivent, bien entendu être parfaitement acérées et bien trempées.

c) L'index doit se présenter aux butoirs de manière que ses contacts en platine se trouvent sur le prolongement de ceux des butoirs, cela, afin que la communication électrique soit parfaitement assurée. On obtient ce résultat en déplaçant les platines, après avoir desserré les écrous qui les fixent aux aimants.

d) L'armature doit couvrir exactement les noyaux des deux bobines, si l'on veut obtenir la meilleure utilisation des lignes de force émises par ceux-ci : si cette condition n'est pas réalisée, on desserre la vis V^1 (fig. 236, p. 403), qui fixe les aimants au massif M; les trous dans lesquels passe cette vis, étant allongés, permettent de faire pivoter ou de déplacer latéralement tout le faisceau, pour amener l'armature à la position convenable, par rapport aux noyaux. Il est à remarquer que ce déplacement ne modifie en rien les différents réglages indiqués plus haut.

e) Les deux noyaux doivent se trouver à la même hauteur, lorsque le bouton qui commande le levier LL' (fig. 244, p. 409) est amené à zéro; on serre l'index entre les deux butoirs, de manière que l'armature soit bien horizontale (et l'index vertical) : on doit pouvoir passer, entre chacun des noyaux et l'armature, une feuille de papier à dépêche pliée en quatre. La hauteur des bobines se règle à l'aide des vis V et V', portées par le levier LL'.

f) Les butoirs et les contacts de l'index doivent être

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entretenus dans le plus grand état de propreté; on les nettoiera périodiquement, à l'aide de papier émeri très fin, pour les débarrasser des poussières et oxydes qui nuiraient à la bonne communication électrique; on aura soin d'éviter, en les frottant ainsi, d'user de travers les pièces de contact, ce qui rendrait le réglage des butoirs très difficile : on aura avantage à utiliser, si on la possède, une pièce de bronze, fabriquée spécialement dans le but de permettre d'user normalement les contacts en les nettoyant; cette pièce est constituée par un bloc de bronze, percé de deux trous et de deux rainures; les trous servent aux boutons de contact (fig. 251) : après avoir posé le bloc sur une feuille de papier émeri, on introduit, dans l'un des trous, le bouton à nettoyer qui se trouve ainsi parfaitement perpendiculaire au plan sur lequel son extrémité va frotter, puis on fait tourner vivement le bouton, tout en appuyant dessus, afin de déterminer un frottement qui polisse la partie platinée. Les deux rainures servent pour l'index : on couche celui-ci dans l'une et l'axe dans l'autre, on couvre la première avec un « cabron » (pièce de bois recouverte de papier émeri) C (fig. 252), et on tire sur l'extrémité A de l'armature, pour faire appliquer le contact de l'index contre le cabron : les déplacements de ce dernier, guidés par la surface supérieure du bloc, assurent l'usure convenable de la partie platinée. Cette pièce, malheureusement, fait défaut dans certains bureaux.

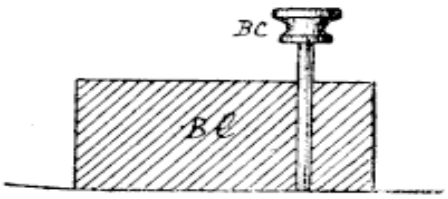


Fig. 251.

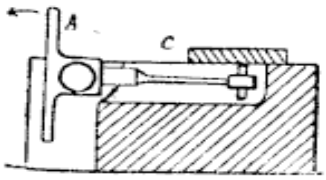


Fig. 252.

Lorsque le nettoyage sera terminé et avant de remettre les pièces en place, on les frottera légèrement sur une feuille de papier ordinaire, pour débarrasser les contacts des grains d'émeri qui pourraient y adhérer et empêcheraient la communication électrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

g) *Réglage des butoirs.* — Avant de mettre les relais en service, on amènera le bouton du levier LL' à zéro (les bobines seront alors à la même hauteur), puis on procèdera au réglage « à l'indifférence », comme si le relais devait fonctionner avec courant de repos. Le but à atteindre est celui-ci : l'index ne doit pas avoir tendance à s'appuyer plutôt sur un butoir que sur l'autre; il doit rester sur celui où l'a amené le dernier courant reçu et doit même y revenir spontanément sous l'action du magnétisme rémanant, lorsqu'on l'en écarte avec le doigt.

On procède de la façon suivante : le relais étant retiré du circuit, afin qu'il ne soit, pendant le réglage, parcouru par aucun courant, on amène le levier porte-ressort de l'armature vis-à-vis de la médiane, ou, mieux encore, on détache complètement le ressort, puis on desserre légèrement les étriers, de façon à pouvoir manœuvrer les butoirs. Pour régler la position de celui de travail (gauche), par exemple, on s'assure d'abord que le bouton de contact est vissé à fond sur le bouton de réglage, puis on écarte le butoir de repos, de manière à pouvoir amener l'armature au contact du noyau de droite : le magnétisme rémanent, qui subsiste, dans ce noyau, après qu'on l'a séparé de l'armature, doit être suffisant pour rappeler celle-ci chaque fois qu'avec le doigt on amène l'index sur le butoir de travail. Si ce rappel n'a pas lieu, cela indique que le butoir de travail est trop loin de la verticale médiane : on visse alors lentement le bouton de réglage avec le bouton de contact, jusqu'au point où l'armature, amenée à gauche, retombe d'elle-même à droite. On immobilise alors le butoir de travail en serrant l'étrier.

Si, au premier essai, l'armature retournait seule vers la droite, rien ne prouverait que le point juste n'est pas dépassé : pour s'en assurer, on reviendrait en arrière, jusqu'à ce qu'on se trouve dans le cas précédent : il suffirait alors de visser, de nouveau, d'une petite quantité, pour atteindre la position convenable.

Le butoir de travail réglé et immobilisé, on dévisse le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bouton de contact seul, pour procéder, de la même façon, au réglage du butoir de repos : on amène l'armature au contact du noyau de gauche, puis on visse ou on dévisse le butoir de droite, pour chercher le point à partir duquel l'index ne reste plus sur ce dernier, lorsqu'on l'y amène et qu'on l'abandonne ensuite à lui-même. Ce point une fois trouvé et le butoir de repos serré par son étrier, on revisse le bouton de contact du butoir de gauche et, si l'on a bien opéré, on trouve à l'index un jeu extrêmement minime, mais suffisant (2 ou 3/100 de millimètre au maximum).

Le réglage du premier butoir étant effectué avec soin on pourrait, sans inconvénient, se dispenser de régler le second et se contenter de serrer ce dernier jusqu'à ce que le jeu de l'index soit minimum. On le jugera, soit en plaçant le relais entre l'œil et la lumière et en manœuvrant l'armature, de façon à voir l'intervalle, tantôt sur un butoir, tantôt sur l'autre. On peut encore procéder de la façon suivante : le relais étant posé sur une table, on place un doigt de chaque main, l'index, par exemple, sur les extrémités de l'armature, en prenant point d'appui sur les joues en buis des bobines : si l'on presse très légèrement d'un côté, l'armature bascule et on sent, au bout de l'autre doigt, le soulèvement de l'extrémité opposée à celle sur laquelle on appuie. La même méthode pourrait servir, en cas de non-fonctionnement du parleur, à vérifier si le relais reçoit et enregistre des courants venant de la ligne : il suffit d'un peu d'exercice pour acquérir la légèreté de doigté nécessaire.

Dans ce dernier cas, toutefois , on peut avantageusement se servir du moyen acoustique, qui consiste à placer le bout de la lame d'un tourne-vis sur un butoir et l'extrémité du manche dans le pavillon de l'oreille : on entend alors nettement chaque déplacement de l'index du relais.

h) *Réglage en ligne.* — Le relais étant vérifié et les butoirs réglés, comme nous venons de l'indiquer, on amènera l'armature au contact au noyau de gauche, en desserrant le bouton de contact de ce côté, puis en le revissant aussitôt : l'index restera sur le butoir de travail. On tour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nera alors lentement le bouton de manœuvre des bobines, jusqu'à ce que l'index vienne franchement s'appuyer sur le butoir de repos et y revienne chaque fois qu'on l'en écartera. On pourra, alors, mettre le relais en ligne. Dès que les courants d'un des postes extrêmes parviendront au translateur, on terminera le réglage d'après la façon dont les signaux seront enregistrés.

Nous avons dit (p. 410) qu'en tournant le bouton de manœuvre des bobines dans le sens des aiguilles d'une montre, on favorise le retour de l'armature au repos, comme on le ferait en tendant un ressort antagoniste. Dans ces conditions, le réglage en ligne peut être ramené à celui d'un Morse, dans lequel on diminue ou on augmente la force du ressort, suivant que les signaux sont maigres ou collés.

La course entière du levier s'effectuant dans un seul tour du bouton, on aura soin de ne manœuvrer celui-ci que de très petites quantités à la fois.

Réglage du parleur. — Le mouvement de l'appendice est limité par deux butoirs : celui de travail doit être placé de telle sorte que l'armature puisse arriver très près de la joue en fer doux mais sans la toucher; on pourra procéder, soit en évaluant à l'œil l'intervalle entre les deux pièces, lorsque l'appendice s'appuie sur son butoir de travail, soit encore en introduisant, avant d'abaisser l'armature, une feuille de papier pliée en deux et en montant ensuite le butoir de travail jusqu'à ce que la feuille puisse être déplacée facilement entre l'armature et la joue. On placera ensuite le butoir de repos, de manière à laisser à l'appendice une course de 2 millimètres, au maximum.

Les butoirs de travail et de repos étant ainsi réglés,on les immobilisera et on pourra alors placer la vis de contact par rapport au ressort de mise à la terre. Nous avons fait remarquer que celui-ci est armé de manière à s'appuyer contre l'équerre qui le supporte, dès qu'il quitte la vis de contact, ce qui exclut la possibilité de vibrations susceptibles d'établir des dérivations anormales; on pourra donc, au repos, laisser, entre la vis de contact et le ressort, un jeu extrême-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment faible, le temps de la mise à la terre sera d'autant plus prolongé et la décharge se fera dans les meilleures conditions.

Le ressort antagoniste de l'armature sera réglé en ligne.

L'entretien du parleur consistera dans le nettoyage périodique des contacts de mise à la terre et dans le graissage du pivot de l'armature, pour assurer à celle-ci la mobilité convenable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME PARTIE

Appendice

XXII

ACCUMULATEURS

Electrolyse. — Voltamètre. — Lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers une masse d'eau, qu'on a acidulée pour la rendre plus conductrice, on remarque que cette eau est décomposée en ses deux éléments constitutifs, hydrogène et oxygène, qui se dégagent en bulles; on peut les recueillir dans des éprouvettes disposées à cet effet (fig. 253). L'oxygène s'accumule dans l'éprouvette O, qui recouvre l'électrode positive, l'hydrogène, dans la seconde, H. On a ainsi constitué un *voltamètre*. Le dégagement de gaz n'a lieu que sur les électrodes. Grotthus, dès 1850, donna de ce remarquable phénomène, une explication qui est encore admise par beaucoup de physiciens : l'hydrogène, qui entre dans la composition d'une molécule d'eau, est électro-positif par rapport à l'oxygène; le courant, traversant l'eau, place les molécules comme l'indique le croquis ci-après (fig. 254); toutes les molécules d'eau se trouvent décomposées en même temps. Celle qui touche le pôle positif

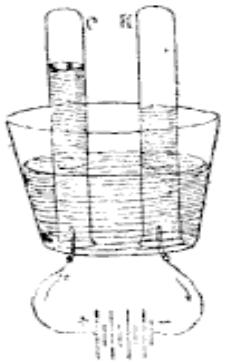


Fig. 253.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a son oxygène attiré comme négatif; son hydrogène, positif est repoussé et se combine aussitôt avec l'oxygène négatif de la molécule voisine, et ainsi de suite, toutes les molécules étant, de la sorte, décomposées et recombinées en même temps, sauf les deux extrêmes : l'oxygène de la première et l'hydrogène de la dernière se portent sur les électrodes. Un courant d'une intensité de un *coulomb* (ampère-seconde) libère, en centimètres cubes, 0,1158 d'hydrogène et 0, 0579 d'oxygène.

Si, ensuite, on sépare les électrodas de la pile pour les fermer sur un galvanomètre, on constate que le voltamètre devient un couple voltaïque : l'hydrogène et l'oxygène, en se recombinant, engendrent une force électromotrice et un courant parcourt le circuit, tant que cette recombinaison n'est pas achevée. Dès que les éprouvettes sont, de nouveau, vides de gaz, l'aiguille du galvanomètre revient à la position de repos.



Fig. 254.

De même, lorsqu'un courant traverse un composé chimique, à l'état liquide ou en dissolution, il le résout en deux composants, simples ou complexes, dont l'un va au pôle positif et l'autre au pôle négatif. L'action ainsi produite par le courant s'appelle *électrolyse* ou *électrolysation*; le corps décomposé se nomme *électrolyte*; l'électrode positive s'appelle aussi *anode*; l'électrode négative *cathode*; les produits de la décomposition sont les *ions*; celui qui se dépose sur l'anode prend le nom de *anion*; celui qui va là a cathode s'appelle *cathion*. La galvanoplastie est une application pratique de ce phénomène : l'argenture, le nickelage, se font en plongeant dans une solution de sel métallique l'objet à recouvrir, relié à l'électrode négative : le sel est décomposé par le courant et le métal vient se déposer sur la cathode. Dans les piles, des phénomènes électrolytiques se produisent : par exemple, dans la pile Daniel, la solution de sulfate de cuivre est décomposée en cuivre métallique et acide sulfurique; le premier va se déposer sur le pôle cuivre, dont il augmente le volume; le second

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

passe dans le compartiment zinc et va régénérer le liquide excitateur. Il est à remarquer qu'ici, l'électrode sur laquelle se dépose le métal est le pôle positif de la pile, tandis que, dans le bain galvanoplastique, c'est sur l'électrode négative qu'à lieu le dépôt. Pour éviter toute confusion à cet égard, il suffit de se souvenir que l'hydrogène résultant de la décomposition de l'eau suit, en quelque sorte, le sens du courant : celui-ci, à l'intérieur de la pile, allant du négatif au positif, c'est sur ce dernier que se porte le métal libéré par l'hydrogène; au contraire, dans un voltamètre intercalé à l'extérieur, le courant va de l'électrode positive vers la négative : c'est donc à la cathode qu'on doit mettre l'objet à métalliser.

Puisque nous parlons de la pile, signalons une expérience curieuse de reversibilité, qu'on peut facilement faire : si, dans un élément de pile Daniel, par exemple, ayant travaillé, on fait passer *en sens inverse*, c'est-à-dire du positif au négatif, le courant d'une autre pile quelconque, on voit s'effectuer le travail inverse de celui dont l'élément était précédemment le siège : le sulfate de zinc est décomposé et du zinc métallique va se déposer sur la plaque négative; l'acide sulfurique, ainsi libéré, passe dans le vase poreux et attaque la lame positive, pour reformer du sulfate de cuivre; en d'autres termes, l'élément tend à revenir à l'état dans lequel il se trouvait lors de son montage.

L'hydrogène et l'oxygène, en se combinant pour former de l'eau, engendrent une force électro-motrice égale à 1, 5 volt (exactement 1,482); pendant l'électrolyse, l'affinité des deux corps l'un pour l'autre tendant à les faire recombiner, l'électrolyte oppose à la source une force contre-électromotrice, et il s'ensuit qu'on ne pourra décomposer de l'eau que si la source a, elle-même, une force électro-motrice supérieure à 1,482 volt. D'une façon plus générale, l'électrolysation ne pourra se produire que si la force électromotrice de la pile est supérieure à celle qu'engendreraient les substances dissociées en se recombinant.

Le poids d'électrolyte décomposé dans un temps donné

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est proportionnel à l'intensité du courant. Par exemple, l'unité de quantité d'électricité, le *coulomb* (ampère-seconde) traversant un électrolyte, mettra toujours en liberté 0 gr. 0000105 d'hydrogène.Ce chiffre est l'*équivalent électro-chimique* de l'hydrogène; en le multipliant par l'équivalent chimique (par rapport à l'hydrogène) d'un corps quelconque on obtiendra l'équivalent électro-chimique de ce corps, c'est-à-dire le poids que peut en décomposer un coulomb. Par exemple, le sulfate de cuivre cristallisé (SO^4 *Cu*,5HO = 124,7) aura pour équivalent électro-chimique, en milligrammes, 0,0105 × 124,7 = 1,30. En multipliant ce nombre par 3.600, on trouve qu'un ampère-heure intéressera 4 gr. 68 de sulfate de cuivre.

Accumulateur Planté. — Dans le voltamètre que nous avons décrit plus haut, les électrodes sont en platine et les gaz, produits de l'électrolyse, se dégagent. M. Planté a eu l'idée de substituer au platine un autre métal, le plomb, facilement oxydable, et de faire travailler, en quelque sorte, les gaz, au lieu de les laisser simplement s'accumuler dans des éprouvettes. Les deux plaques de plomb baignent dans l'eau acidulée sulfurique, au 1/10 en volume. Ces plaques étant physiquement dans le même état par rapport au liquide, il n'y a aucune raison pour qu'il s'établisse entre elles une différence de potentiel. Mais, dès que le circuit d'une pile est fermé sur ce voltamètre, l'eau est électrolysée; l'oxygène, se portant sur l'électrode positive, en attaque la surface, qui se couvre de peroxyde de plomb; l'hydrogène va à l'électrode négative et réduit l'oxyde produit par le contact de l'air avant l'immersion, s'empare de l'oyxgène pour former de l'eau, et l'on voit cette plaque prendre la teinte de plus en plus claire du plomb réduit. Lorsque les gaz ont achevé, l'un d'oxyder, l'autre de désoxyder les surfaces qui leur sont offertes, ils se dégagent : l'apparition de bulles d'oxygène sur l'électrode positive indique que le voltamètre est complètement chargé.

Si, maintenant, nous retirons du circuit la pile de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge et la remplaçons, comme précédemment, par un galvanomètre, nous constatons qu'un courant d'une très grande intensité, mais de peu de durée, s'établit : nos deux plaques qui, avant la charge, étaient inertes, sont maintenant dans des états différents; elles constituent les pôles d'un élément voltaïque secondaire; celle qui était reliée au pôle positif de la pile devient, elle-même, le pôle positif de ce couple; l'eau est, de nouveau, électrolysée, l'hydrogène suivant, comme nous l'avons dit, le sens du courant et celui-ci allant, à l'intérieur, du négatif au positif, l'hydrogène, disons-nous, vient desoxyder cette dernière plaque, tandis que l'oxygène va réoxyder la négative; il y a, en outre, sulfatation des électrodes. L'action cesse lorsque les deux plaques sont ramenées à un état identique : l'accumulateur est déchargé.

Comme on le voit, il y a là, accumulation, non pas d'électricité, mais de travail chimique produit par un courant : l'énergie électrique de charge est transformée en énergie chimique; à la décharge, au contraire, l'énergie chimique se transforme en énergie électrique.

Formation électrolytique. — La première charge n'a intéressé que la surface extérieure des plaques; mais le plomb réduit se dépose sous une forme cristalline, spongieuse, et il en résulte qu'à la seconde charge, l'oxygène peut atteindre non seulement le plomb oxydé la première fois, mais encore la couche sous-jacente : la capacité de l'accumulateur se trouve donc augmentée et la seconde décharge durera plus longtemps que la première, à débit égal. On appelle *formation* d'un accumulateur l'accroissement progressif de la masse de plomb, rendue ainsi perméable à l'action électrolytique. Elle consiste dans une série de charges et de décharges successives; comme la formation marche plus vite du côté positif que du côté négatif, il est utile d'intervertir, de temps à autre, les communications avec la source, pour changer le sens de la charge : c'est ce qu'on appelle *retourner* l'accumulateur. On réduit dans une proportion notable la durée de la formation en immergeant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plaques, pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures, « dans un bain d'acide azotique étendu de moitié son volume d'eau : une partie du plomb se dissout, sans doute, mais l'épaisseur des plaques n'en est pas sensiblement diminuée; par suite de la porosité métallique, l'action de l'acide nitrique ne s'exerce pas seulement à la surface du plomb, mais aussi à l'intérieur; elle crée de nouveaux intervalles moléculaires et facilite, en conséquence, la pénétration ultérieure de l'action électrolytique du courant primaire [1] » Il y a lieu, dans ce cas, de laver soigneusement et plusieurs fois de suite les plaques avant de les mettre en formation, afin d'enlever *toute trace d'acide nitrique* des pores ainsi créés dans le plomb.

La formation n'est limitée que par l'épaisseur même des plaques, mais, dans la pratique, on s'arrête bien avant cette limite, afin de réserver une âme conductrice de plomb métallique.

Formation artificielle. — La formation électrolytique présente l'inconvénient de demander plusieurs mois : indépendamment des charges et des décharges successives, dans un sens et dans l'autre, il est indispensable de laisser reposer les accumulateurs pendant des temps de plus en plus longs, au fur et à mesure que la formation se poursuit, afin de permettre une forte adhérence du plomb spongieux sur l'âme métallique; celui-ci, sans cette précaution, tomberait rapidement, sous forme de poudre, au fond du vase.

Dans le but d'abréger cette opération préliminaire, M. Faure eut l'idée de recouvrir les plaques d'une couche de minium, qui se transformait rapidement en peroyxde sur la lame positive et en plomb spongieux sur la lame négative. C'est ce qu'on a appelé la formation *artificielle*, par opposition avec la précédente, qu'on nomme aussi formation *naturelle*. Ce premier essai ne donna pas d'heureux résultats, la matière active se désagrégeant rapidement et tombant

1. G. PLANTÉ. *Compte rendu de l'Académie des Sciences*, 28 août 1882.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au fond du vase. D'autres constructeurs imaginèrent d'utiliser des plaques de plomb percées de trous, quadrillées, entaillées de gorges, etc., pour y comprimer les oxydes à la presse hydraulique. Ceux-ci sont généralement le minium (Pb^3O^4) pour les plaques positives et la litharge (PbO) pour les négatives. Dans tous ces systèmes, les dilatations et les contractions successives, dues à la charge et à la décharge font tomber les oxydes, insuffisamment adhérents, et on n'a bientôt plus qu'un squelette, la plaque elle-même, dépourvue de matière active. Ces raisons ont motivé un revirement dans l'opinion générale et un retour vers l'accumulateur à formation électrolytique, genre Planté, qui échappe, dans une très large mesure, aux inconvénients que nous venons de signaler.

Constantes d'un accumulateur. — Régime de charge et de décharge. — La résistance intérieure d'un accumulateur est pratiquement nulle, vu la grande surface des plaques et le peu d'épaisseur de la couche de liquide qui les sépare : elle se réduit à quelques centièmes d'ohm.

« Les couples doivent être chargés jusqu'à ce que le voltage atteigne 2,5 volts par élément. Au début de la charge, le liquide reste clair, le voltage atteint seulement 2,3 volts par élément; ensuite, le liquide se trouble d'abord légèrement, puis devient laiteux : le voltage arrive à 2,35, 2,40; il reste stationnaire jusqu'à ce que le liquide s'éclaircisse de nouveau. L'aspect des bulles de gaz a changé complètement : de très petit diamètre au début, elles deviennent beaucoup plus grosses et le voltage de chaque élément atteint 2, 5 volts [1] ».

La force électro-motrice, égale à 2,5 volts au moment où l'on interrompt la charge, tombe rapidement à 2 volts, où elle reste fixe pendant les 2/3 de la décharge, environ. Dès qu'elle s'abaisse à 1,85, on doit considérer la décharge comme terminée : on évite ainsi la sulfatation des électrodes positives.

1. M. DUJARDIN. *Mémorial des Électriciens*, 1895.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant de charge ne doit pas être trop intense, car il aurait pour inconvénient de détacher les couches d'oxydes et de métal réduit, en produisant un trop vif dégagement de gaz; par contre, un courant trop faible ne pourrait charger complètement le couple : « Le peroxyde de plomb tend, en effet, à se réduire spontanément au sein de l'eau acidulée, à mesure qu'il se forme; cette réduction est d'autant plus facile que la couche est plus lentement déposée et, par suite, plus mince; de sorte qu'il arrive un moment où l'action du courant primaire est équilibrée par la tendance du peroxyde à se réduire dans le liquide : la limite de charge est alors atteinte et l'est d'autant plus tôt que la surface du couple est plus grande »[1]. Entre ces deux inconvénients, il faut s'efforcer de garder un régime approprié à la capacité du couple. Reynier[2], indique comme susceptible de donner de bons résultats le régime de 0,25 à 0, 75 ampère pour la charge et de 1 à 3 ampères pour la décharge, par *kilogramme de plomb*. D'autres auteurs préconisent des régimes de charge et de décharge ne dépassant pas 1/12 de la capacité totale. En général, un bon accumulateur, chargé et déchargé au régime de 1/10 de sa capacité, restitue 90 à 92 0/0 du nombre d'ampères-heure qu'il a reçu; mais si le régime de décharge vient à être doublé, le rendement en ampères n'est plus que de 70 0/0.

La capacité spécifique d'un bon accumulateur est de 8 à 10 ampères-heure par kilogramme de plaques[3].

Accumulateur en usage au Poste Central de Paris. — Trois genres différents d'accumulateurs sont en usage au Poste Central de Paris : les systèmes Laurent-Cély, Blot et Tudor.

1° *Accumulateur Laurent-Cély.* — L'accumulateur Laurent-Cély est à formation artificielle : chaque plaque est constituée par une grille en plomb antimonieux, inattaquable

1. G. Planté. *Recherches sur l'Électricité.*
2. Reynier. *Piles et Accumulateurs.*
3. Hospitalier. *Formulaire de l'Electricien*, 1902.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par l'acide sulfurique, dans les intervalles de laquelle sont encastrées des pastilles de substance active, plomb spongieux pour les négatives, peroxyde de plomb pour les positives.

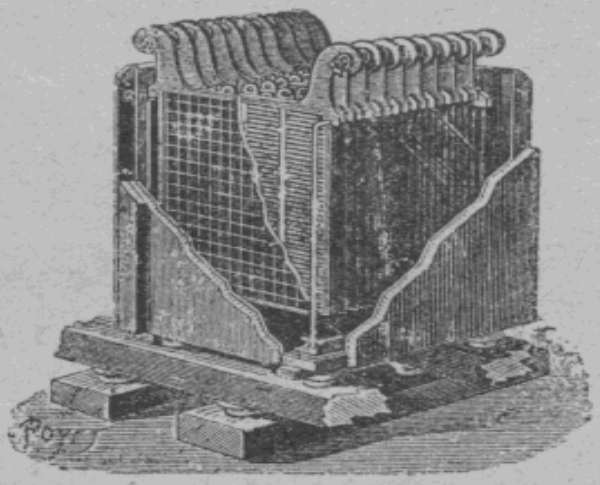


Fig. 255. — Accumulateur Laurent-Cély.

2° *Accumulateur Blot.* — Le type construit par la « Société des Accumulateurs Blot » est à formation électrolytique. Les plaques sont constituées par une série de navettes S' S'' (fig. 256) portant, enroulés autour de leur âme, des rubans alternés de 1/2 millimètre d'épaisseur, les uns en plomb pur, gaufré et strié, les autres en métal moins oxydable ou en plomb pur gaufré seulement. Les âmes des navettes sont en métal non formable et soudées au cadre, constitué également par du plomb non attaquable. Cette ingénieuse disposition, qui permet une grande surface active avec un faible poids de plomb (1/3 de mètre carré par kilogramme d'électrode), donne une grande porosité conductrice, grâce à l'extrême division de la matière. Les navettes sont ensuite placées sur un cadre MNOP, en métal inoxydable, auquel les âmes sont soudées : la plaque, ainsi constituée, est libre de se dilater de haut en bas et latéralement ; les rubans peu-

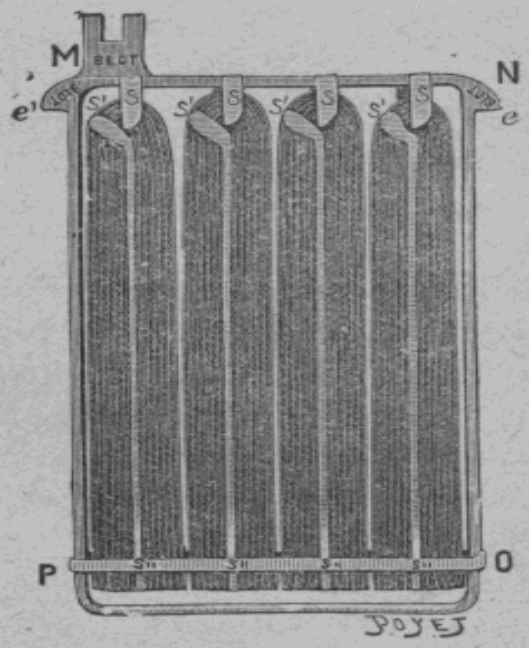


Fig. 256. — Plaque Blot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vent foisonner entre eux; ils augmentent librement d'épaisseur et de longueur, mais le cadre conserve toujours sa forme géométrique. Les expériences ont démontré ce fait que l'élément, déchargé à un régime quelconque jusqu'au court circuit, n'accuse pas la moindre déformation. Les plaques sont soutenues par leur partie supérieure à l'intérieur du liquide (fig. 257) à l'aide d'un double cadre en plomb dur; celui-ci porte des encoches, qui permettent d'y placer deux lames en verre, sur les bords desquelles viendront s'appuyer les talons des cadres portant les navettes. Les plaques sont séparées les unes des autres par des tubes de verre.

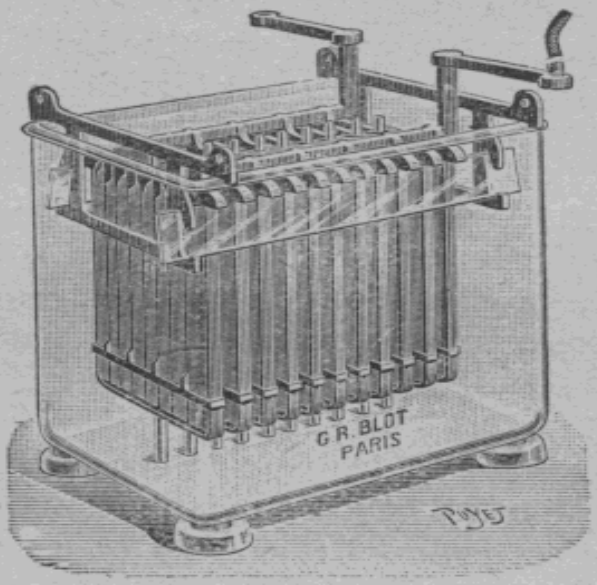
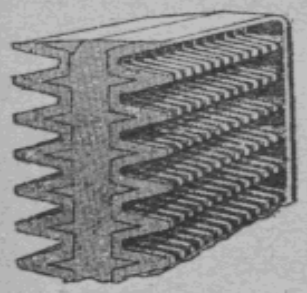


Fig. 257. — Accumulateur Blot.

Il faut remarquer, en outre, que le peu d'épaisseur du ruban ne diminue pas la capacité de l'accumulateur : la formation électrolytique n'intéresse généralement que quelques dixièmes de millimètres de profondeur, et si, dans les autres genres d'accumulateurs, on emploie des plaques beaucoup plus épaisses, c'est uniquement pour obtenir plus de solidité de l'âme-support et éviter le foisonnement.


Fig. 258.
Plaque d'accumulateur Tudor.

3° *Accumulateur Tudor.* — L'accumulateur Tudor est à formation mixte, c'est-à-dire mi-partie naturelle, mi-partie artificielle : l'électrode est constituée par une forte plaque en plomb pur, présentant une série de gorges ou rainures, disposées horizontalement. Avant de comprimer la pâte d'oxyde dans les dites rai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nures, la plaque est soumise à la formation électrolytique, ce qui offre un double avantage : d'abord l'oxyde, dont les gorges sont ensuite remplies, adhère mieux sur son support; d'autre part, lorsque se produit l'inévitable désagrégation de la matière rapportée, ainsi que nous l'avons dit plus haut, la carcasse, dont la formation s'est continuée lors des charges et décharges successives, constitue, à elle seule, un accumulateur du genre Planté, capable de continuer le service. Les bacs sont agencés de telle sorte qu'entre la partie inférieure des plaques et le fond, il reste un espace suffisamment grand pour que la poudre d'oxyde puisse s'y accumuler, sans qu'on ait à craindre de courts-circuits.

Installation électrique du Poste Central de Paris. — L'énergie électrique est fournie au Poste Central par une véritable petite usine, placée dans les sous-sols, et qui comprend les machines à vapeur actionnant des dynamos; celles-ci servent à charger les batteries d'accumulateurs employées, soit à la lumière, soit à la fourniture du courant nécessaire aux transmissions. Elles servent pour diverses autres applications, telles que le remontage des poids des appareils, la mise en marche du monte-charge et de l'outillage de l'atelier d'électricité, etc.

L'atelier d'électricité se compose de quatre générateurs Belleville, actionnant quatre groupes électrogènes. Chaque générateur est d'une puissance de 60 chevaux et peut vaporiser 900 kilogrammes d'eau à l'heure : la pression en marche est maintenue constante à 12 kilogrammes. On peut, suivant les besoins du service, les accoupler par deux, trois ou quatre ensemble. Leur alimentation est faite automatiquement au moyen de « petits chevaux ».

Chaque groupe électrogène se compose d'une machine motrice, qui entraîne l'induit d'une dynamo. Chaque dynamo est à enroulement Compound (v. p. 201), sa production est de 425 ampères, sous un voltage de 70 volts, soit 29.750 watts. Comme les générateurs, les dynamos peuvent être accouplées :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En quantité, pour fournir la lumière;

En tension, pour la charge des batteries suivantes :

1° La batterie d'éclairage de secours, composée de 40 bacs d'accumulateurs, système Blot (chaque bac pèse environ 600 kilos). Cette batterie a une capacité totale de 2,350 ampères-heure; son régime normal, de 235 ampères, peut, en cas de nécessité, être poussé jusqu'à 800 ampères-heure pendant deux heures;

2° Les batteries servant à fournir le courant aux appareils télégraphiques, et qui comprennent :

3 batteries positives Tudor, de 65 bacs chacune (130 volts), susceptibles de fournir un débit de 9 ampères pendant 8 heures, soit une capacité de 72 ampères-heure;

2 batteries négatives Tudor, de 65 bacs (130 volts), capables d'assurer un débit de 4 ampères pendant 8 heures;

1 batterie Laurent-Cély de 65 bacs, de même capacité que la précédente;

3 batteries positives Blot, de 15 bacs (30 volts) pouvant soutenir pendant 10 heures un débit de 15 ampères.

Soit, au total, 9 batteries, dont trois positives de 130 volts, trois négatives de 130 volts et trois positives de 30 volts. Chaque catégorie comprend : une batterie en service, une en charge et une, toute chargée, en réserve, pour le cas d'accident à la première. Un jeu de commutateurs permet de substituer instantanément une batterie à une autre du même genre, sans que le service soit interrompu.

Chaque batterie comprend le nombre de prises de courant nécessaire pour fournir tous les voltages usités.

Si les batteries restaient constamment montées de la même façon, il arriverait que les bacs placés à la base (côté relié à la terre) s'useraient beaucoup plus vite que ceux du sommet, ces derniers ne travaillant que pour les courants de 130 volts, tandis que les premiers fourniraient à toutes les prises sans exception. Afin d'obtenir, dans un temps déterminé, un travail sensiblement égal de tous les bacs, chaque batterie est divisée en trois groupes, que nous dési-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

guerons par les lettres A, B, C, et qu'un « commutateur de base », dû à M. Mauriva, inspecteur principal, permet de placer dans l'ordre qui convient : par exemple, le groupe A à la base, avec son pôle extrême relié à la terre, puis B et C en tension sur le premier, C se trouvant au sommet; en mettant le commutateur de base dans une seconde position, les trois groupes sont placés dans l'ordre : B, C, A; enfin, la troisième correspond au groupement C, A, B.

Après avoir traversé les deux commutateurs, les prises de courant arrivent à un tableau de départ, placé dans l'atelier même; les bornes qui les reçoivent sont séparées de celles qui les renvoient au Poste Central par un plomb préservateur, fusible sous la chaleur développée par un débit de 10 ampères. A ces dernières bornes sont attachés les fils qui conduisent au répartiteur des voltages, situé au rez-de-chaussée; de là ils repartent, à travers des fusibles variant de 2 à 6 ampères, suivant les prises, pour aboutir aux tableaux de salles; là, ils sont renvoyés aux appareils à travers des lampes-témoins dont la résistance est calculée à raison de 3 ohms par volt, et qui s'allument aussitôt que le débit normal est dépassé. Ainsi qu'on peut le voir, tout court-circuit se produisant dans un groupe déterminé coupe la communication de ce groupe, sans que tout le reste du Poste puisse même s'en apercevoir : les dérangements sont ainsi facilement et rapidement localisés.

Un système analogue de protection existe sur les circuits des moteurs et des lampes, alimentés directement par les machines dynamos. Notons pour mémoire que les lampes à arc de la salle A débitent environ 10 ampères; les autres grosses lampes du modèle Cance, 8 ampères et les petites Cances, 5 ampères. Chaque lampe à incandescence prend, étant neuve, 0,8 ampère et atteint 1 ampère quand elle commence à s'user. L'intensité nécessaire aux moteurs des remontoirs automatiques varie, suivant les systèmes, de 0,7 à 0,9., amp., sauf, bien entendu, au démarrage, où ils absorbent tous plus de 1 ampère.

Echelle de potentiels à accumulateurs. — Avant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de quitter les accumulateurs, mentionnons une application très originale qu'en a faite M. Pierre Picard, dans son échelle de potentiels, installée au Poste Central de Lyon. Ces sortes de dispositifs ont pour but d'utiliser directement le courant des machines dynamos aux transmissions télégraphiques.

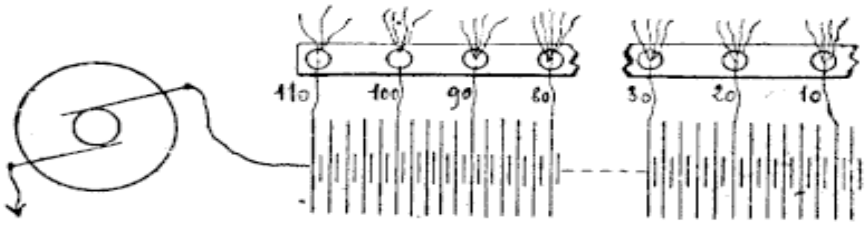


Fig. 259. — Echelle Picard.

Pour cette graduation des potentiels, M. Pierre Picard s'est servi de la force contre-électro-motrice qu'opposent les accumulateurs à la machine qui les charge : à cet effet, une batterie de très faible capacité est reliée en opposition avec l'un des balais de la dynamo (fig. 259), dont le second balai est à la terre; la batterie est isolée à son autre extrémité; il s'ensuit que, si les choses restaient en l'état, les accumulateurs ne pourraient se charger et la machine ne dépenserait que la force nécessaire à son propre mouvement. Mais si, de distance en distance, on établit des prises de courant, il est évident que leur voltage sera égal à celui de la dynamo, diminué de la force contre-électro-motrice opposée par les bacs compris entre la machine et chacune de ces prises : c'est ainsi qu'avec deux dynamos de 55 volts chacune, qui, mises en tension, donnent 110 volts, on pourra prendre des dérivations de 100, 90, 80, etc., au 5e, au 10e, au 15e bac, et ainsi de suite. La dépense est ainsi strictement proportionnelle au courant absorbé, ce qui n'a pas lieu dans l'échelle constituée par des résistances où, lorsque aucun poste ne travaille, la machine dépense inutilement en chaleur tout le courant qu'elle produit.

Ce dispositif fonctionne périodiquement à Lyon et peut, en cas de défaillance des grandes batteries Tudor, dont ce poste est pourvu, leur être instantanément substitué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXIII

NOTIONS SUR LES MESURES ÉLECTRIQUES USUELLES

Nous avons défini en leur temps les différentes unités électriques; rappelons brièvement que :

Le *volt* est l'unité de force électro-motrice;

L'*ampère*, l'unité d'intensité, avec son sous-multiple, le *milliampère* (1 /1000 d'ampère);

Le *coulomb*, l'unité de quantité;

Le *farad* , l'unité de capacité, avec son sous-multiple, le *microfarad* (1 millionième de farad);

L'*ohm*, l'unité de résistance, avec son multiple, le *mégohm* (1 million d'ohms).

Connaissant la force électro-motrice E d'une source électrique et la résistance R du circuit *total* sur lequel elle agit, nous pourrons trouver l'intensité I du débit par la formule :

$$I = \frac{E}{R}$$

d'où nous tirons :

$$E = RI,$$

ce qui nous permet de trouver la force électro-motrice E d'une source qui, sur une résistance R, donne une intensité I; ou encore :

$$R = \frac{E}{I}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui nous montre quelle est la résistance R d'un circuit sur lequel une force électro-motrice E donne une intensité I.

Si nous voulons maintenir dans les meilleures conditions d'exploitation un circuit télégraphique, y chercher les dérangements qui pourraient s'y produire, nous devrons pouvoir mesurer chacun des deux facteurs, force électromotrice et résistance, dont l'action combinée détermine le régime du courant, ou ce dernier directement.

Les appareils de mesure, dont nous aurons à faire usage dans le service courant, et que nous allons décrire sommairement, sont :

1° La boussole ou galvanomètre, qui servira à révéler le passage d'un courant dans un circuit, nous indiquera sa direction et nous donnera *approximativement* son intensité;

2° Le voltmètre, ou appareil à mesurer les intensités;

3° L'ampèremètre, ou appareil à mesurer les intensités;

4° Le pont de Wheatstone, instrument à l'aide duquel nous pourrons mesurer les résistances.

Galvanomètre. — La boussole ordinaire, celle dont les marins ou les voyageurs se servent pour se guider, se compose d'une aiguille aimantée, portant, à sa partie médiane, une chape en agate : si l'on monte cette chape sur un pivot constitué, par exemple, par une pointe en acier trempé, l'aiguille se place d'elle-même dans la direction nord-sud, sous l'action directrice de la terre et y revient dès qu'on l'en écarte. Nous avons vu, d'autre part, qu'un courant développe, autour du circuit qu'il parcourt, un champ magnétique (v. p. 45) : si, donc, nous faisons passer un courant parallèlement à l'aiguille d'une boussole, le champ magnétique développé dans le circuit contrariera l'action directrice de la terre et l'aiguille tendra à se déplacer perpendiculairement au fil conducteur. La règle d'Ampère,

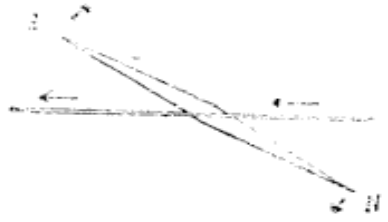


Fig. 260

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que nous avons indiquée à propos de l'électro-aimant (p. 46), est applicable au cas qui nous occupe : la poupée étant couchée sur le fil, le courant arrivant du côté des pieds, le pôle nord de l'aiguille (celui qui se dirige vers le nord) se placera à sa gauche. Si le fil, primitivement au-dessus de l'aiguille (fig. 260), est ensuite placé au-dessous (fig. 261), le même courant fera dévier l'aiguille en sens inverse, la droite et la gauche de la poupée se trouvant en même temps inversées; si la direction du courant vient à être changée, les déviations, dans l'un et l'autre cas, seront également inversées. Enfin, si le fil conducteur forme autour de l'aiguille une boucle (fig. 262) dont l'une des branches passe au-dessus et l'autre au-dessous de l'aiguille, les deux actions s'ajouteront, le courant se dirigeant de droite à gauche dans la première, de gauche à droite dans la seconde : l'action sera donc doublée et la déviation aura lieu dans la direction que donnerait à l'aiguille l'une quelconque des branches, si elle agissait seule.



Fig. 261.



Fig. 262

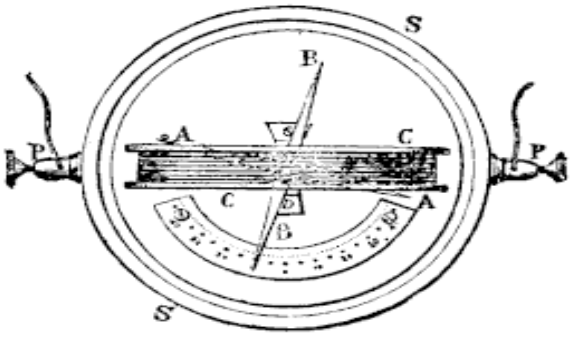


Fig. 263. — Galvanomètre

Un galvanomètre est constitué par un cadre oblong C (fig. 263) sur lequel on a enroulé un nombre plus ou moins considérable de spires de fil entouré de soie ou de coton; l'aiguille aimantée AA, est placée à l'intérieur du cadre, de manière à se trouver, par rapport au circuit, dans la situation de la figure 262; elle porte, en outre, une deuxième aiguille BB, généralement en clinquant de cuivre jaune, et qui lui est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

perpendiculaire; cette dernière suit tous les mouvements de la première et peut se déplacer sur un cadran gradué en degrés. On oriente le cadre de telle sorte que, lorsque l'aiguille aimantée est sous la seule influence de l'action directrice de la terre, elle est placée parallèlement aux spires de fil : dans cette situation, l'aiguille indicatrice se trouve au point zéro, situé au milieu du cadran. Lorsqu'un courant parcourt le galvanomètre, l'aiguille aimantée dévie, entraînant avec elle l'aiguille indicatrice, qui montre, sur le cadran, le sens et l'importance de la déviation. Le tout est enfermé dans une boîte cylindrique en laiton, SS, portant deux bornes PP, reliées aux deux bouts du fil qui entoure le cadre. Un couvercle en verre permet d'observer les déviations, tout en maintenant le système à l'abri de la poussière.

Il existe une foule de modèles différents de galvanomètres; celui que nous venons de décrire est embroché dans les circuits télégraphiques, entre le paratonnerre et le commutateur (v. p. 262).

Boussole des sinus. — La déviation d'un galvanomètre ainsi construit ne peut servir à mesurer l'intensité du courant qui parcourt le cadre : en effet, l'action du courant, maxima lorsque l'aiguille est parallèle aux spires, diminue au fur et à mesure que celle-ci s'éloigne de cette position, et devient nulle lorsque l'aiguille est perpendiculaire : il s'ensuit que les déviations ne sont pas proportionnelles à l'intensité du courant. On obtient une mesure plus exacte par l'emploi du galvanomètre à cadre mobile, permettant de suivre le mouvement de l'aiguille et de maintenir son parallélisme avec les spires, pendant qu'elle s'éloigne de la position nord-sud : l'intensité est alors proportionnelle au sinus de l'angle dont le cadre a été déplacé ou, ce qui revient exactement au même, dont l'aiguille a dévié. M. Montillot (*Télégraphie pratique*, p. 561) décrit ainsi la boussole des sinus employée dans les essais électriques : L'enroulement des boussoles des sinus est fait en gros fil de cuivre recouvert de soie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les extrémités de ce fil sont attachées aux bornes PP, (fig. 264), qui communiquent elles-mêmes avec les bornes *pp*, servant à attacher les fils du circuit extérieur. Le cadre C, autour duquel est enroulé le fil, est fixé au milieu d'un disque de bois, D. Au centre de ce disque se trouve un pivot en acier sur lequel est posée une aiguille aimantée, garnie d'une chape en agate. L'aiguille aimantée est entièrement contenue dans le cadre C, mais, perpendiculairement à son axe, elle porte une aiguille indicatrice en laiton, BB. A l'extrémité antérieure de cette aiguille correspond une colonnette, *x*, surmontée d'une plaque portant deux goupilles de laiton, entre lesquelles l'aiguille BB peut osciller, et une ligne de repère, à laquelle correspond la pointe de l'aiguille indicatrice, quand l'aiguille aimantée est parallèle aux spires du fil enroulé sur le cadre C. Le disque D, muni d'une manette et d'un index, E, peut tourner autour de son centre, qui coïncide avec le point de suspension de l'aiguille aimantée et avec le centre du socle S. Dans le mouvement de rotation qu'on lui imprime, le disque D entraîne avec lui le cadre C et l'aiguille B. Les communications électriques entre les bornes P et les bornes *p* sont assurées par des fils souples. En se déplaçant avec le disque D, l'index E se meut sur un limbe gradué, qui permet de mesurer l'amplitude du mouvement de rotation. Lorsqu'un courant parcourt le fil enroulé sur le cadre C, l'aiguille aimantée est déviée et l'aiguille indicatrice vient buter contre une des goupilles de la plaque *x*.

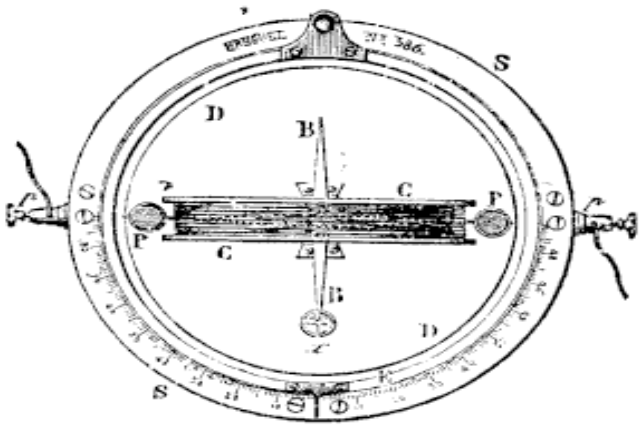


Fig. 264. — Boussole des sinus

On fait tourner le disque jusqu'à ce que la pointe de l'ai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

guille de laiton se détache de la goupille et s'arrête sur la ligne de repère de la plaque x. Le nombre de degrés dont s'est déplacé l'index E sur le limbe gradué indique l'angle de déviation de l'aiguille aimantée; l'intensité du courant qui a traversé le cadre galvanométrique est proportionnelle au sinus de cet angle. Il est donc possible de comparer les intensités i et i' de deux courants provoquant dans le galvanomètre des déviations d et d'; on a alors :

$$\frac{i}{i'} = \frac{\sin d}{\sin d'}$$

Dans les essais courants, qui n'exigent pas un grande précision, on peut, sans erreur sensible, admettre que les intensités sont porportionnelles aux déviations, ce qui donne la relation :

$$\frac{i}{i'} = \frac{d}{d'}$$

Voltmètre-Ampèremètre. — Le voltmètre et l'ampèremètre sont des galvanomètres dont la graduation a été établie de telle sorte qu'on puisse les utiliser pour mesurer, soit des forces électro-motrices, soit des intensités.

Le voltmètre se place entre les deux pôles de la batterie à mesurer, indépendamment du circuit sur lequel celle-ci travaille; il a toujours une très grande résistance, afin que l'on puisse considérer comme nulle celle de l'intérieur de la source; en d'autres termes, afin que l'intensité qui fait dévier l'aiguille soit proportionnelle à la force électromotrice exclusivement et quelle que soit la résistance intérieure de la batterie.

L'ampèremètre, au contraire, s'intercale dans le circuit même. Il a une résistance très faible (une fraction d'ohm, généralement) afin que sa présence dans le circuit ne fasse pas varier sensiblement l'intensité du courant. En télégraphie, on emploie plus souvent le milliampèremètre. Il est, dans la plupart des cas, gradué pour 10 milliampères, avec les dixièmes; en outre, deux shunts enfermés dans la boîte même peuvent être adjoints : les indications données par l'aiguille doivent être multipliées par 5 ou par 10,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivant le shunt qu'on emploie. Lorsqu'on intercale le milliampèremètre dans un circuit, sans savoir approximativement quelle est l'intensité qui le parcourt, il est prudent de mettre au préalable le shunt de 1/10 : on évite ainsi qu'un débit trop fort chasse brutalement l'aiguille, très légère, jusqu'au bout de sa course, ce qui pourrait la fausser.

Rhéostat. — Un rhéostat est composé d'un certain nombre de bobines, dont le rôle consiste simplement à opposer leur résistance au courant qui les parcourt. Le fil de ces bobines est fait d'un métal ou d'un alliage dont la résistance ne varie pas sensiblement avec la température, et dont le coefficient de résistivité est assez élevé pour qu'on puisse avoir les résistances qu'on désire sous le minimum de volume. On emploie généralement le maillechort (alliage de cuivre, zinc et nickel).

Le type le plus employé pour les mesures est une « caisse de résistances » oblongue, à l'intérieur de laquelle sont rangées les différentes bobines, soigneusement étalonnées en ohms. Sur le couvercle de cette caisse sont placés des plots métalliques, susceptibles d'être réunis à l'aide de fiches, comme ceux des commutateurs bavarois. La bobine n° 1 a l'une des extrémités de son fil soudée au premier bloc, qui supporte la borne d'entrée B (fig. 265), sa sortie au deuxième plot; ce même plot reçoit également l'entrée de la bobine n° 2, dont la sortie est soudée au troisième, et ainsi de suite.

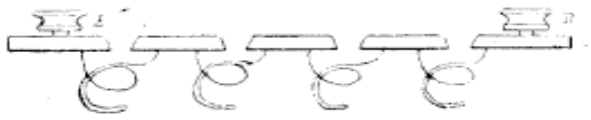


Fig. 265.

La sortie de la dernière bobine est reliée à un bloc portant une seconde borne, B'. Les bornes servent à intercaler le rhéostat dans le circuit et l'on conçoit que, si aucune fiche ne réunit les plots, le courant, pour se rendre de B à B', devra parcourir toutes les bobines et éprouvera, de ce fait, une certaine résistance; mais, si une fiche est enfoncée entre deux plots, le courant pourra passer de l'un à l'autre sans traverser la bobine qui les réunit et évitera ainsi la résistance de celle-ci. En face de chaque trou se trouve un chiffre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui indique la valeur de la résistance qu'on supprime en y plaçant la fiche ou qu'on intercale en la retirant. Comme pour les mesures de poids et autres, on a donné aux bobines des résistances en ohms de 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 50, 100, etc., de telle sorte qu'en « débouchant » les trous convenables, on peut intercaler dans le circuit toutes les résistances comprises entre l'unité et le total du rhéostat.

Pont de Wheatstone. — Le pont de Wheatstone sert à mesurer les résistances. Pour en comprendre le principe, il suffit de nous rappeler que :

1° Lorsqu'un courant circule sur un conducteur, l'un des bouts a le potentiel de la pile, l'autre celui de la terre; entre ces deux points, le potentiel va en décroissant. Par exemple, si un conducteur homogène, AE (fig. 266), est mis en relation avec une pile de 20 volts et qu'à chacun des quarts, B, C, D, E, on mesure le potentiel, on trouvera respectivement 15, 10, 5, 0 volts. Si le conducteur n'est pas homogène, c'est-à-dire s'il est constitué par des fils de différentes grosseurs ou de différentes natures, c'est *en ohms*, *et non en mètres*, qu'il faudra mesurer ces quatre quarts et le résultat sera identique : nous dirons alors que, si AE a, au total, une résistance de 100 ohms, ce sera aux points qui, partant de A, représentent 25, 50, 75 ohms, que se trouveront respectivement 15, 10, 5 volts.

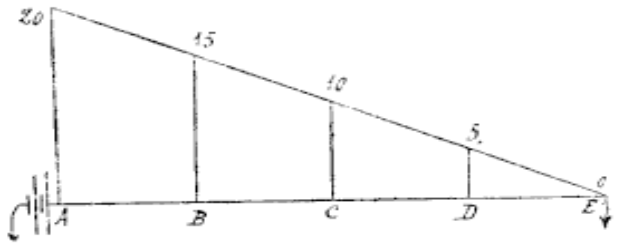


Fig. 266.

2° Pour qu'un courant puisse s'établir entre deux points réunis par un conducteur, il faut que ces deux points aient des potentiels différents : si cette condition est réalisée, le courant partira de celui où le potentiel est le plus élevé pour se rendre vers celui où il est le plus faible. Si les deux points sont au même potentiel, aucun courant ne parcourra le fil de jonction.

Relions, par exemple, une pile de 20 volts à deux conduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teurs de 100 ohms chacun (fig. 267), la chute de potentiel se fera, sur chacun d'eux, comme nous venons de le dire, et si nous réunissons, à travers un galvanomètre, les points B et B' situés chacun à une distance de 25 ohms de la pile, l'aiguille de notre galvanomètre restera immobile, parce que les points B et B, se trouvent au même potentiel et qu'il n'y a aucune raison pour qu'un courant s'établisse plutôt de B vers B' qu'inversement; nous pourrons, de même, réunir les points C et C', situés 25 ohms plus loin, et les points D et D', sans obtenir davantage une dérivation d'un conducteur sur l'autre. Avec deux circuits de résistances différentes, dont l'un aurait, par exemple, 100 ohms et l'autre 20, la réunion des points 25, 50, 75 de l'un avec les points 5, 10, 15 de l'autre, ne donnerait pas davantage lieu à un courant, bien que l'intensité ne soit pas la même dans les deux circuits.

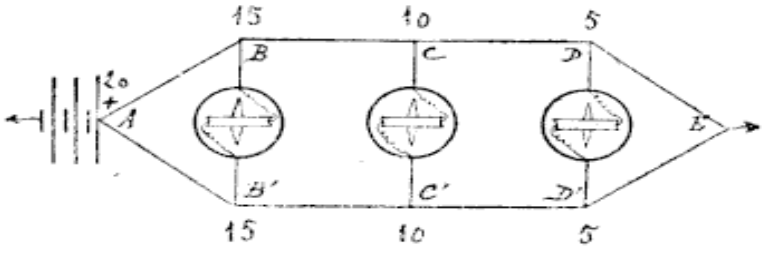


Fig. 267

Examinons maintenant l'agencement d'un pont de Wheatstone (fig. 268) : disposons, sur les deux branches A et B d'un parallélogramme, deux résistances fixes, de 1.000 ohms chacune, par exemple; sur une troisième, C, un rhéostat et sur la dernière, D, l'objet à mesurer. Sur la diagonale de ce parallélogramme, installons un galvanomètre G, qu'une clé, C', peut intercaler dans le circuit de jonction. Enfin, relions à la terre le point de rencontre des branches B et D et celui de A et C à une pile P, à travers

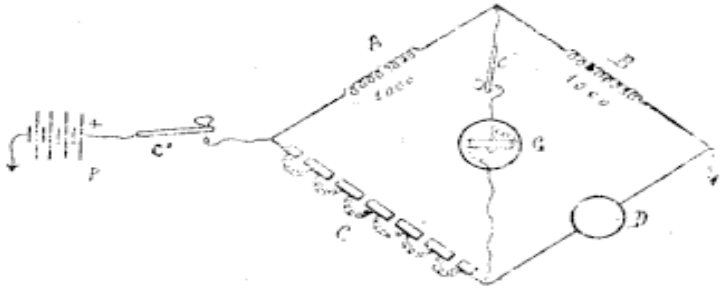


Fig. 268 — Pont de Wheatstone.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une seconde clé, C''. Lorsque nous abaisserons cette dernière, le courant s'établira dans les deux chemins qui lui sont offerts, A et B d'une part, C et D de l'autre. Lorsqu'il aura dépassé les 1.000 ohms de A, le potentiel sera tombé à la moitié de celui de la pile P, puisqu'il aura parcouru la moitié du chemin qui, de ce côté, le sépare de la terre. Si les deux branches C et D étaient égales, le courant, à sa sortie de C, serait, de même, au milieu du chemin qu'il a à parcourir, et on pourrait abaisser la clé C' sans que le galvanomètre accusât le passage d'aucun courant de dérivation . Mais nous ignorons quelle est la résistance de D : nous chercherons donc, en faisant varier le rhéostat C, à lui donner une résistance telle que le galvanomètre reste immobile lorsque nous abaisserons la clé C' : à ce moment, la résistance de C, nous indiquera celle de D, que nous ne connaissions pas.

On atteindra le but par tâtonnements : on donnera, de prime abord, à C, une résistance inférieure à celle qu'on suppose correspondre à D, on notera dans quel sens dévie l'aiguille, lors de l'abaissement de la clé C' ; on augmentera progressivement la résistance du rhéostat, en essayant à chaque fois : la déviation ira en diminuant ; si l'on dépasse le point juste, la dite déviation se produira en sens inverse : on reviendra alors en arrière, jusqu'à ce qu'on obtienne l'immobilité complète de l'aiguille.

Il n'est pas indispensable que les branches A et B aient des résistances égales : si nous avons à mesurer une bobine de faible résistance, à une fraction d'ohm près, nous pourrons, par exemple, donner à A 1.000 ohms et à B 100 seulement. Dans ce cas, le courant, en sortant de A, aura parcouru les 10/11 de son chemin : pour que la sortie de C soit au même potentiel, c'est-à-dire pour que l'aiguille du galvanomètre reste immobile, il faudra également que la résistance de C soit 10 fois plus grande que celle de D. Inversement, dans le cas où l'on voudra mesurer un fil dont la résistance est notablement supérieure à celle du rhéostat C, on pourra donner à A et B, respectivement, 100 et 1.000

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ohms : lorsque l'équilibre de l'aiguille sera obtenu, la résistance de C représentera le 1/10 de celle de D. En un mot, on peut établir A et B dans un rapport quelconque, C et D se trouveront dans le même rapport, ou, si l'on préfère, on aura toujours :

$$\frac{A}{C} = \frac{B}{D}$$

On ne doit abaisser la clé C', fermant le circuit du galvanomètre, qu'après avoir abaissé la clé C'', « pour permettre au courant d'atteindre son régime permanent à travers l'ensemble des conducteurs avant de lui faire traverser le galvanomètre. Il convient aussi, en commençant une mesure, de déboucher des résistances se rapprochant, autant que possible, de la résistance cherchée; si l'on n'a aucun terme de comparaison, il sera bon de shunter le galvanomètre et d'enlever le shunt lorsque, en raison de l'approximation obtenue, les courants lancés dans le galvanomètre ne seront plus de nature à provoquer des déviations trop grandes [1] ». Dans le même ordre d'idées, lorsqu'on manœuvrera la clé C', on se bornera à « donner de très légers contacts; il suffit qu'on puisse reconnaître de quel côté l'aiguille dévie, tant que l'équilibre n'a pas été à peu près établi; sans cela, on perdrait beaucoup de temps dans les expériences pour attendre que l'aiguille revienne au zéro; en raison du mouvement d'impulsion qu'elle aurait reçu, elle oscillerait longtemps avant de reprendre cette position [2] ».

La disposition en parallélogramme n'est évidemment pas nécessaire : dans la pratique, on groupe les trois branches A, B, C, dans le plus petit espace possible; elles sont généralement constituées par des caisses de résistances du genre de celle que nous représentons, ci-après (fig. 269); deux bornes sont destinées à recevoir l'entrée et la sortie

1. L. Montillot. *Télégraphie pratique.*
2. R. S. Culley. *Manuel de Télégraphie pratique.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'objet à mesurer, qui représentera la branche D. La clé C'' est en communication permanente avec l'un des pôles de la pile, l'autre pôle est amené à la jonction des branches B et D ou mis à la terre, ainsi que la dite jonction. Dans certaines installations, le galvanomètre porte une série de shunts, laissant passer 1/10, 1/100, 1/1.000 du courant dans le cadre; ces shunts sont reliés à des plots

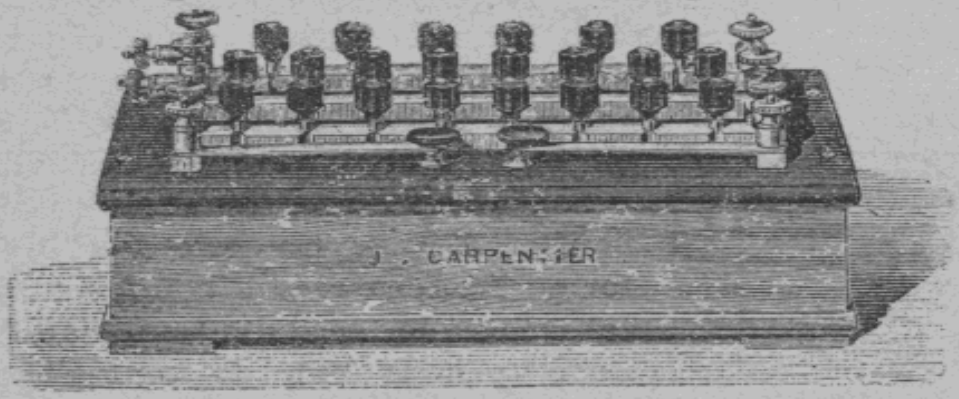


Fig. 269. — Caisse de résistance.

métalliques et, à l'aide de fiches semblables à celles des commutateurs bavarois ou des rhéostats, peuvent être intercalés ou retirés.

Condensateurs. — Les condensateurs employés en télégraphie sont constitués par un assemblage de feuilles d'étain séparées par du papier paraffiné; bien qu'ayant un coefficient de capacité inductive spécifique relativement faible, la paraffine est préférée à d'autres diélectriques d'un coefficient plus élevé, la gutta-percha, le mica, par exemple, parce qu'elle n'offre pas la friabilité de ceux-ci et assure l'isolement parfait des armatures l'une de l'autre. Les feuilles d'étain de rang pair sont réunies entre elles, de même que celles de rang impair, pour former les deux armatures, puis le bloc est noyé dans la paraffine et enfermé dans une boîte; la pression à laquelle on soumet le condensateur influe sur sa capacité : c'est ainsi que, lorsque celle-ci est inférieure d'une petite quantité à celle qu'on désire, on peut, au lieu d'ajouter des feuilles d'étain, comprimer le bloc pour augmenter sa capacité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Deux plots, susceptibles d'être réunis par une fiche, comme dans un commutateur bavarois, sont placés sur le dessus de la boîte et reliés, chacun, à l'une des armatures du condensateur : en enfonçant la fiche entre les deux plots, on met le condensateur hors circuit.

« On peut établir un condensateur d'un microfarad (c'est à peu près la capacité de 3 milles de câble atlantiques) en employant 37 feuilles de bon papier d'étain de 0^m184 sur 0^m152, qu'on sépare l'une de l'autre par deux feuilles très minces de papier destiné à la fabrication des billets de banque et qui sont ensuite comprimées à chaud ; les deux séries se composent respectivement de 18 à 19 feuilles d'étain. La série de 19 lames forme l'extérieur du condensateur et est reliée à la terre. La feuille additionnelle a pour but de neutraliser les effets d'induction des objets voisins. Le papier doit être bien desséché et imbibé de paraffine fondue, soit qu'on le plonge dans la paraffine même ou qu'on étende celle-ci avec un pinceau [1].»

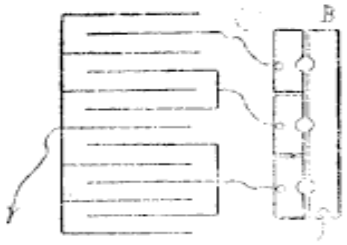


Fig. 270.

Dans les installations duplex différentielles, dont nous parlerons plus loin, on emploie quelquefois des condensateurs à capacité variable, dits « condensateurs gradués » : l'une des armatures est reliée à la terre, l'autre divisée en un certain nombre de groupes, aboutissant à chacun des plots séparés (fig. 270), qu'on peut, comme précédemment, réunir par des fiches à un bloc unique, B, auquel est attaché le fil de communication avec la source électrique. On peut ainsi faire varier à volonté la capacité en réunissant au bloc B les plots convenables.

Mesure de la résistance d'un fil. — Le conducteur est relié à la sortie de la branche C du pont de Wheatstone ; celle de la branche B est à la terre. On opère comme nous l'avons dit plus haut : on peut ainsi mesurer le fil isolé ou relié à la terre à son extrémité opposée.

1. R. S. Culley. *Manuel de Télégraphie pratique.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on ne dispose pas d'un pont de Wheatsone, on peut encore employer la méthode suivante : on établit un circuit comprenant une pile, un interrupteur, un galvanomètre et le fil à mesurer; on ferme le circuit et on note la déviation de l'aiguille, lorsque le régime stable est établi (si l'aiguille, « renverse », on shunte le galvanomètre ou on intercale une résistance). On substitue ensuite au fil un rhéostat : en augmentant progressivement la résistance de ce dernier, on arrivera à obtenir la même déviation qu'avec le conducteur, dont la résistance sera alors représentée exactement par celle du rhéostat : c'est ce qu'on appelle la « méthode de substitution ».

Mesure de la résistance intérieure d'une pile. — La résistance intérieure d'une pile peut être mesurée d'une foule de façons; la plus simple est celle-ci : on détermine d'abord la force électromotrice de la batterie à l'aide d'un voltmètre, placé en dérivation sur les deux pôles. Puis on substitue au voltmètre un ampèremètre, soit en court-circuit, soit sur une résistance connue; on note l'intensité du débit : il suffit alors d'appliquer la formule

$$R = \frac{E}{I}$$

en déduisant du quotient, s'il y a lieu, la résistance intercalée, on trouve celle de la pile. Il suffit ensuite de diviser par le nombre d'éléments pour connaître la résistance moyenne de ceux-ci.

On emploie aussi la méthode dite « de la demi-déviation » : on met la pile en circuit à travers un milliampèremètre et un rhéostat, dont on débouche une résistance : on note la déviation de l'aiguille, puis on intercale de nouvelles résistances jusqu'à ce que la déviation soit tombée à la moitié de ce qu'elle était précédemment : à ce moment, *on a doublé la résistance totale* du circuit, par rapport à la première expérience. Si la première résistance était de 15 ohms, par exemple, et s'il a fallu la porter à 42 ohms pour diminuer le débit de moitié, 42 représente le double

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 15, plus la résistance intérieure qu'il a fallu aussi doubler : celle-ci est donc égale à 12 ohms. Pour faire la preuve de l'opération, le petit calcul suivant suffit : la première déviation a été obtenue sur une résistance de 15 + 12 = 27 : la seconde sur 42 + 12 = 54; 27 × 2 = 54. La mesure sera d'autant plus exacte que la première bobine débouchée se rapprochera davantage de la résistance de la pile : il est évident que, si l'on intercale d'emblée une très grande résistance, celle de la pile devient en quelque sorte négligeable, et on n'obtient qu'une approximation. Au besoin, après avoir trouvé cette approximation, on recommence la mesure en tenant compte de la condition dont nous parlons; le cas échéant, on shunte le galvanomètre ou le milliampèremètre.

Dans le cas où la pile n'est pas constante, la méthode ci-dessus peut donner des indications erronées. On emploie alors avantageusement le pont de Wheatstone, pour effectuer une mesure exacte dans tous les cas : on place la pile sur la branche D du pont (fig. 271), on réunit les points de rencontre des branches A et C, B et D, par un fil conducteur, avec un interrupteur I. Un courant s'établit dans les branches du pont et le galvanomètre prend une certaine déviation : on fait ensuite varier la branche C jusqu'à ce que l'abaissement de l'interrupteur I ne modifie plus la position de l'aiguille. A ce moment, la résistance de la pile et celle de la branche C seront dans le même rapport que A et B.

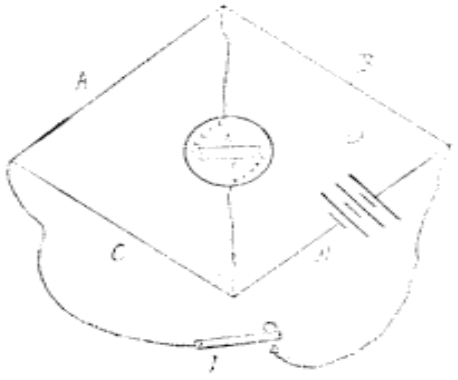


Fig. 271.

Mesure de la capacité d'un conducteur souterrain. — La charge que peut prendre un condensateur est, nous l'avons dit plus haut, proportionnelle à la force électromotrice, V, de la pile et à la capacité, C, dudit condensateur, ce qu'on exprime par la formule :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$$Q = CV.$$

Pour évaluer la capacité d'un conducteur, on la compare à celle d'un condensateur étalonné, en chargeant successivement l'un et l'autre avec la même pile et pendant le même temps. Au moment de la décharge, l'aiguille du galvanomètre dévie brusquement, puis revient en arrière et décrit une série d'oscillations de plus en plus petites, avant de revenir à zéro. On compare la première déviation, ou « élongation », donnée par le condensateur, avec celle qu'accuse le galvanomètre lors de la décharge du conducteur : les quantités emmagasinées par l'un et l'autre sont sensiblement proportionnelles aux élongations. Or, comme la charge a eu lieu avec la même force électromotrice, les quantités sont proportionnelles aux capacités, c'est-à-dire que :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{C}{C'}$$

En remplaçant Q et Q' par les élongations, on déduit de la capacité connue du condensateur la capacité inconnue du conducteur.

La mesure sera faite avec plus de précision si l'on élimine les causes d'erreur provenant des courants parasites ou telluriques, dont la force électromotrice s'ajoute à celle de la pile ou s'en retranche, suivant leur sens. Pour cela, il suffit de charger d'abord la ligne avec le pôle positif, par exemple, puis avec le négatif, et de prendre la moyenne des élongations obtenues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXIV

DUPLEX. — TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE SIMULTANÉES

DUPLEX

Duplex. — Les systèmes duplex ont pour objet de permettre deux tranmissions simultanées et de sens contraire sur un même fil, sans que les signaux de l'un des correspondants soient altérés par ceux que l'autre émet *au même moment*, comme cela se produit, avec les dispositifs ordinaires, lorsqu'on « coupe » une transmission. Il y a lieu, pour éviter toute confusion, d'établir une distinction entre les systèmes *duplex* et les systèmes *multiples*. Ces derniers, en effet, sont basés sur la division du temps, et les transmissions simultanées qu'ils permettent, bien que séparées par des intervalles très courts (de petites fractions de seconde), ont lieu à des moments *différents* : tel est, par exemple, le principe de l'appareil Baudot. Au duplex, au contraire, les deux correspondants peuvent abaisser leur manipulateur à un moment mathématiquement *le même*, sans que les signaux se confondent ni se contrarient.

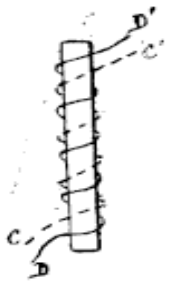


Fig. 272.

Les différents systèmes duplex peuvent se ramener à deux types généraux, suivant qu'ils emploient la méthode différentielle ou celle du pont de Wheatstone.

1° **Méthode différentielle.** — Supposons un barreau de fer doux (fig. 272) autour duquel nous enroulons deux fils conducteurs distincts si nous faisons bifurquer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le courant dans ces deux circuits, de telle sorte qu'il les parcoure dans le même sens, les deux actions s'ajouteront et nous aurons, somme toute, un électro-aimant ordinaire; mais si, au contraire, nous réunissons l'extrémité C de l'un au bout D' de l'autre et mettons D et C' à la terre, comme l'indique la figure 273, un courant arrivant au point P ou « pont du différentiel », se bifurquera entre les deux circuits, mais parcourra l'un en sens inverse de l'autre.

Or, d'après la loi d'Ampère, la position des polarités, aux extrémités du barreau, dépend de la direction du courant qui les engendre : il s'ensuit que si, dans le circuit CC' il tend à développer un pôle nord à l'extrémité supérieure, l'action dans le circuit DD' tendra à engendrer un pôle sud. Le résultat de ce passage simultané et en sens inverse dépendra de l'intensité du courant dans chacun des circuits; si les deux résistances sont de même valeur, le courant se partagera en deux parties égales; les polarités contraires seront, de même, égales et s'annuleront réciproquement : le noyau ne sera donc aimanté ni dans un sens, ni dans l'autre, et l'armature, placée à proximité, restera au repos, exactement comme si aucun courant ne parcourait l'électro-aimant. Mais si les résistances sont inégales, si celle de DD', par exemple, est supérieure à celle de CC', le courant passera en plus grande quantité dans ce dernier, dont l'action sur le noyau sera prépondérante : le barreau sera donc aimanté, à sa partie supérieure, d'un pôle nord, comme si le circuit CC' agissait seul, mais l'intensité de ce pôle sera diminuée de la valeur du pôle contraire, qu'engendrerait DD' , si le barreau était soumis à son influence exclusive. L'armature sera alors attirée, mais avec une énergie égale à la *différence* entre les actions contraires des deux circuits, d'où le nom de *différentiel* donné à un électro-aimant ou à un galvanomètre ainsi construit.

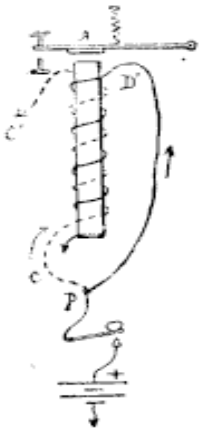


Fig. 273

Ceci étant admis, le système duplex se réduit au dis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

positif suivant : soient deux postes A et B (fig. 274) réunis par un fil de ligne L. Le récepteur de chacun d'eux est à double enroulement; le pont du différentiel est relié à l'axe du manipulateur, dont la butée de repos est en relation avec la terre. A l'extrémité opposée au pont, l'un des circuits communique avec le fil de ligne, tandis que l'autre aboutit à un rhéostat R et à un condensateur C. Cette dernière branche s'appelle la « ligne factice ».

Chacun des correspondants, agissant sur son rhéostat (et aussi sur son condensateur, dont nous expliquerons plus loin le rôle), équilibre sa ligne factice, par rapport à la ligne réelle, L, de telle sorte que ses courants de transmission, bien que traversant son propre récepteur pour se rendre sur la ligne, restent sans action sur l'armature, tant que le correspondant tient son manipulateur au repos; ce résultat sera obtenu lorsque les résistances des deux lignes seront égales.

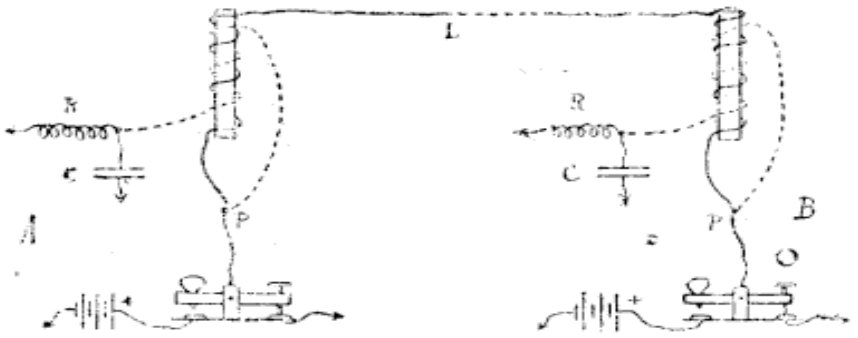


Fig. 274. — Duplex différentiel.

Dans ces conditions, lorsque A, par exemple, transmettra son courant, arrivé au point P, se bifurquera en parties égales entre les deux circuits : premier enroulement et ligne, d'une part, second enroulement et rhéostat de l'autre, pour aller à la terre; parvenu au poste B, le courant parcourra le circuit relié à la ligne et, du pont gagnera la terre par la butée d'arrière du manipulateur. L'armature de A ne sera pas influencée, tandis que celle de B fonctionnera : les choses se passeront donc, dans ce cas, comme sur une installation ordinaire. De même, si B transmet pendant que A est au repos.

Mais si, pendant que A fait un trait, par exemple, B

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vient à abaisser son manipulateur, les forces électromotrices des deux piles vont s'opposer l'une à l'autre, si elles sont de même pôle, ou s'ajouter, si elles sont de pôles contraires. Dans un cas comme dans l'autre, les conditions pour lesquelles a été fait le réglage du différentiel vont se trouver changées : l'équilibre sera rompu, comme il le serait par un changement de la résistance du circuit de ligne, celle de l'autre circuit restant invariable. Supposons que les deux postes aient une pile positive de même voltage, la ligne se trouvant au même potentiel aux deux bouts, il n'y a aucune raison pour qu'un courant circule dans un sens plutôt que dans l'autre, le courant A passera donc, sinon en totalité (à cause des pertes de la ligne et de l'inégalité possible des deux piles opposées), tout au moins en plus grande partie dans le circuit du rhéostat dont l'action sur le noyau sera prépondérante et l'armature de A sera attirée, *par son propre courant*, tant que B tiendra son manipulateur abaissé en même temps que A ; si A relève le sien avant la fin du signal de B, le courant de celui-ci pourra alors passer sur la ligne et continuera l'attraction commencée dans le récepteur A. De même en B : son armature était déjà attirée lorsqu'il a abaissé son manipulateur ; le courant de A a été aussitôt remplacé par le sien propre, dans le circuit du rhéostat, pour maintenir l'armature sur le butoir de travail. Dès que A relève son manipulateur, l'équilibre se rétablit dans le récepteur B, dont l'armature se relève.

Pour obtenir un bon fonctionnement, il importe d'équilibrer, non seulement la résistance, mais aussi la capacité des deux circuits du différentiel : en effet, le rhéostat, constitué comme nous l'avons dit plus haut (p. 454), n'offre aucune capacité, tandis que celle du conducteur, surtout s'il est souterrain, est quelquefois très grande.

Or, la loi d'Ohm n'intervient dans toute son efficacité que lorsque le fil est complètement chargé : il s'ensuit qu'au commencement de chaque émission, un débit beaucoup plus grand passerait dans le circuit de ligne et déter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

minerait l'attraction de l'armature; de même lors de la décharge. Le condensateur C, placé à chaque poste sur la ligne factice, a pour but de rendre celle-ci aussi semblable que possible à la ligne réelle. Il arrive même qu'à capacité égale, le condensateur se charge et se décharge plus vite que le fil : on a recours alors à l'échelonnement de petits

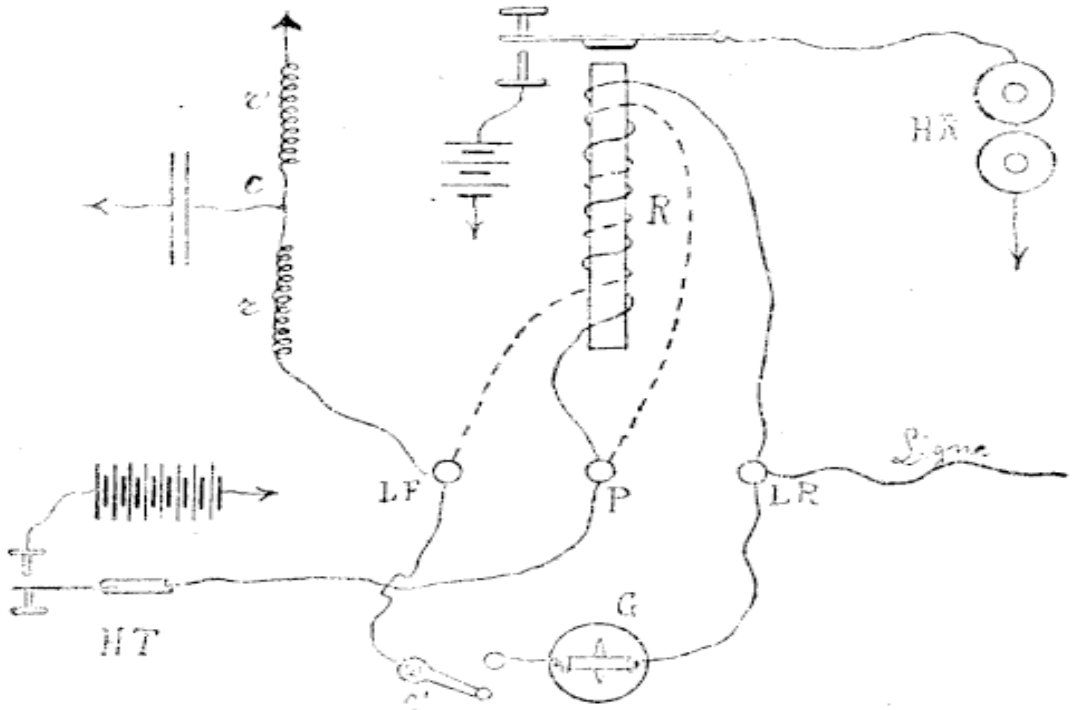


Fig. 275 — Installation Hughes Duplex.

condensateurs, séparés les uns des autres par des bobines d'électro-aimants, dont la self-induction s'oppose à la rapidité de la charge et de la décharge; on parvient, par un réglage convenable, à rendre celles-ci égales en valeur et en durée à celles de la ligne.

Dans les installations Hughes duplex, l'appareil transmetteur, HT (fig. 275), occupe la même place que le manipulateur Morse dans la précédente; ses bobines ne sont parcourues par aucun courant, le contrôle lui étant donné par le déclanchement automatique. Ses courants se bifurquent en P, dans un relais différentiel R, comme dans l'électro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aimant récepteur de la figure 274. Le butoir de travail de ce relais est muni d'une pile et son massif est en communication avec les bobines du Hughes récepteur HR; enfin, un commutateur C' permet de réunir, pour le réglage, les bornes LR et LF du relais, à travers un galvanomètre ordinaire, G. Le reste de l'installation est en tout semblable à celle d'un Morse duplex et le relais, fonctionnant dans les conditions que nous avons indiquées plus haut, commande le Hughes récepteur lorsque son armature est attirée sur le butoir de travail.

Réglage. — On équilibre la ligne factice et la ligne réelle de la façon suivante : on ferme le circuit du galvanomètre G à l'aide du commutateur C' et on envoie un courant continu par le Hughes transmetteur HT, pendant que le correspondant est au repos. Le galvanomètre se trouve ici placé comme celui d'un pont de Wheatstone (v. p. 444) par rapport aux deux circuits à équilibrer : la résistance des deux enroulements du relais étant la même, l'aiguille du galvanomètre ne restera immobile que si celles de la ligne factice et de la ligne réelle sont, de même, égales. On fera donc varier les rhéostats r et r', jusqu'à ce qu'on obtienne cette immobilisation.

Le réglage du condensateur se fera ensuite en envoyant, par l'appareil HT en marche, des émissions espacées, des blancs, par exemple : l'aiguille du galvanomètre déviera tant que les effets de charge et de décharge ne seront pas égaux sur les deux lignes. Lorsque le condensateur ne permettra pas d'ajouter ou de retrancher de très petites capacités, on usera avantageusement de l'ingénieux dispositif imaginé par M. Ailhaud : on voit, sur la figure 275, que le condensateur est placé en dérivation entre les deux rhéostats r et r'; nous savons, d'autre part, que la charge qu'il pourra prendre est proportionnelle au potentiel du point C, où se fait la bifurcation. Or, la chute de potentiel, depuis la pile jusqu'au point C, dépendra de la résistance du premier rhéostat r (v. p. 443) : on pourra donc parfaire le réglage en faisant varier r, ce qui aura pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

effet de faire varier le potentiel du point C; mais, afin de ne pas détruire le premier réglage des résistances, on aura soin d'agir, en même temps, sur r', de quantités égales et en sens contraire, c'est-à-dire d'ajouter au second ce qu'on retirera au premier, ou inversement, de telle sorte que la résistance de la ligne factice ne soit pas modifiée par cette manœuvre.

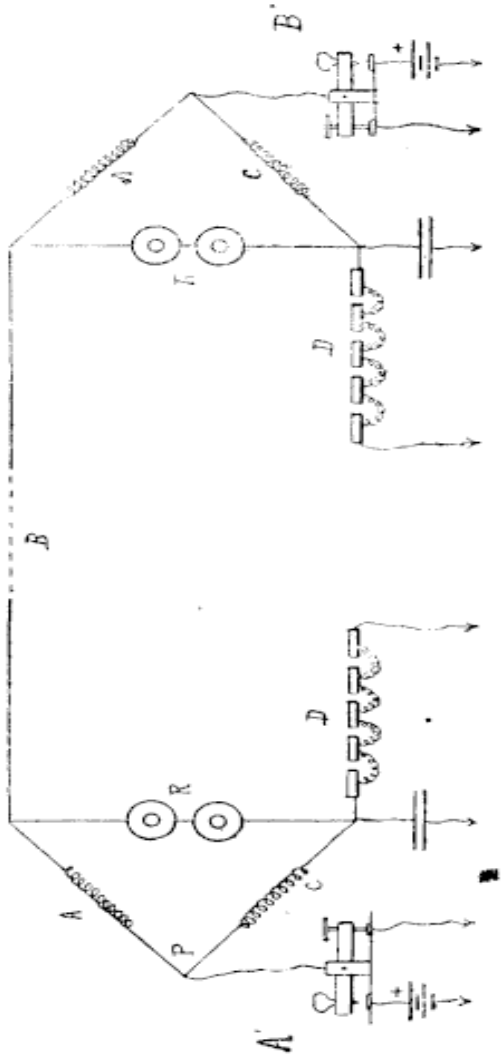


Fig. 276.
Duplex en pont de Wheatstone.

Le galvanomètre, ainsi substitué au relais, permet d'effectuer un réglage beaucoup plus exact que celui dans lequel on se baserait seulement sur les indications données par l'armature.

2° **Méthode du pont de Wheatstone.** — La méthode différentielle a pour inconvénient de nécessiter la transformation des électro-aimants de simple en double enroulement; la méthode du pont de Wheatstone, que nous allons exposer, s'adapte aux appareils tels qu'ils sont agencés pour les communications ordinaires et présente, à cet égard, un avantage sur la précédente.

Le manipulateur, dont la butée de repos est à la terre, a son axe relié à la tête P du pont (fig. 276); le récepteur R est placé sur la diagonale, comme le galvanomètre dans le pont qui sert à mesurer les résistances. Les deux branches A et C sont constituées par deux résistances fixes ; la branche B, représentée par le fil de ligne, sera équilibrée à l'aide

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du rhéostat placé sur la branche D (complétée, comme dans la méthode différentielle et pour les mêmes raisons, par un condensateur). Lorsque le pont sera réglé comme nous l'avons dit plus haut, les courants émis par A, par exemple, n'influenceront pas son récepteur R, puisque les deux extrémités de la diagonale seront au même potentiel. Arrivés au poste B, ces courants trouveront devant eux deux chemins : l'un à travers le récepteur et la branche C, l'autre à travers la branche A, pour arriver à la tête P du pont et, de là, se rendre à la terre par le manipulateur au repos. Si B transmet en même temps que A, l'équilibre des ponts est rompu aux deux postes et, les extrémités des diagonales se trouvant alors à des potentiels différents, les récepteurs sont traversés par une fraction de courant qui les actionne.

On voit, qu'à part la disposition, ces deux systèmes de duplex agissent de la même façon; en outre, dans le différentiel, la totalité du courant reçu de la ligne lorsque l'un seul des correspondants transmet, passe dans la moitié du circuit du récepteur; avec la méthode du pont de Wheatstone, la moitié du courant passe dans la totalité du circuit des bobines, ce qui revient au même.

On remarquera qu'avec les manipulateurs ordinaires, entre l'instant où le levier quitte la prise de pile et celui où il revient au repos, l'isolement momentané de la ligne retarde le rétablissement de l'équilibre à l'autre poste. Sur les fils de faible longueur, cela est généralement sans inconvénient; sur les autres, on fait usage de manipulateurs spéciaux, grâce auxquels le changement de position se fait instantanément.

Le réglage de ce duplex s'effectue comme celui que nous avons indiqué pour le différentiel (p. 457) : de même, on substitue au récepteur un galvanomètre intercalé à l'aide d'un commutateur, et on équilibre d'abord les résistances par l'envoi d'un courant continu , puis les capacités, par l'envoi d'émissions espacées, jusqu'à ce que le galvanomètre reste insensible aux signaux transmis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Télégraphie et téléphonie simultanées. — L'expérience ayant démontré que les courants ondulatoires du téléphone et les courants continus du télégraphe peuvent, sans se confondre, circuler dans un même circuit, on a cherché à utiliser pour la correspondance télégraphique les conducteurs téléphoniques, tout en leur conservant leur destination première. Pour cela, il a fallu mettre le téléphone à l'abri des troubles que pourraient lui apporter les courants télégraphiques et des mouvements brusques que ceux-ci détermineraient sur les membranes des récepteurs. Il a suffi, pour obtenir ce résultat, d'intercaler, entre les appareils télégraphiques et la ligne, des électro-aimants dits « graduateurs » qui, par leur self-induction, s'opposent à l'élévation rapide de la courbe d'intensité; un condensateur, placé en dérivation, concourt encore à cette graduation, qui empêche les courants télégraphiques d'être entendus dans le téléphone. Le dispositif représenté ci-dessus (fig. 277) est dû à M. Van Rysselberghe : il comporte deux électro-aimants graduateurs, E' et E, placés, l'un entre la pile et le manipulateur, l'autre entre ce dernier et la ligne; le condensateur C ajoute, comme nous l'avons dit, son action à celle des deux électro-aimants; enfin, pour que les courants télégraphiques ne soient pas dérivés dans le téléphone, celui-ci est séparé de la ligne par un second condensateur, C', dit « séparateur ».

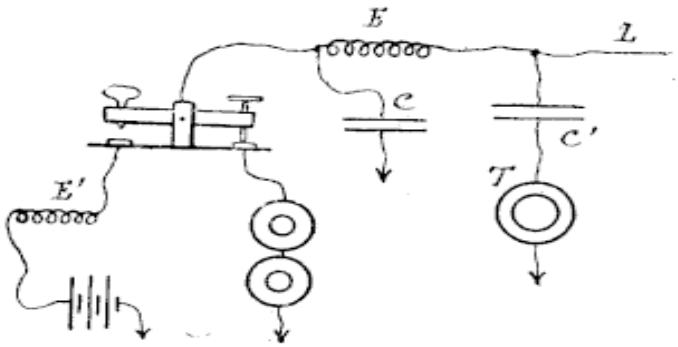


Fig. 277. — Dispositif van Rysselberghe.

Lorsqu'on abaisse le manipulateur, le courant, au lieu de se précipiter brusquement sur la ligne, doit vaincre la self-induction des électro-aimants E' et E et charger le condensateur C : son intensité au delà de E n'augmente donc que progressivement. De même, quand le mani-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

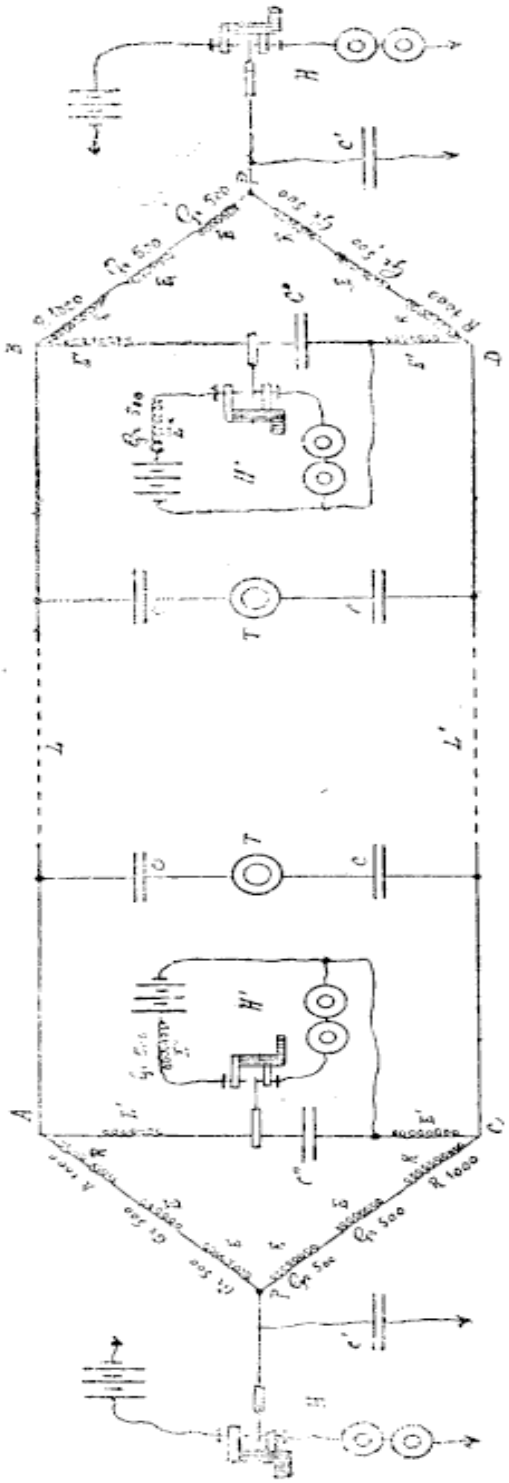


Fig. 278.
Diplex Dejongh.

pulateur, abandonné revient au repos, la décharge du conducteur s'opère suivant une période décroissante : les mouvements communiqués à la plaque du téléphone par les émissions et les interruptions, ainsi *graduées*, ne donnent lieu à aucun bruit perceptible.

Quant aux courants téléphoniques, la self-induction de E et E' oppose à leur passage un obstacle infranchissable et ils n'ont pas d'autre issue que le téléphone lui-même, à travers le conducteur C'.

Diplex Dejongh. — Le système *duplex* permet l'échange simultané de deux dépêches, *en sens contraire*, sur un même conducteur ; le *diplex* rend possibles deux transmissions simultanées *dans le même sens*. Il peut, lui-même, être mis en duplex et devient alors un *quadruplex*. Ce dernier genre d'installation n'étant pas en usage en France, nous nous bornerons à mentionner ici le diplex Dejongh (du nom de son inventeur, fonctionnaire de l'Administration des Télégraphes Belges), en service sur deux circuits téléphoniques Paris-Central — Bruxelles-Central et Paris-Bourse — Bruxelles-Bourse, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui donne, pour chaque circuit, deux communications télégraphiques et une communication téléphonique simultanées.

La figure 278, ci-dessus, nous montre l'agencement de ce système : les deux conducteurs sont placés comme les branches B et D d'un pont de Wheatstone et les téléphones, T, intercalés dans le circuit à l'aide de condensateurs séparateurs C; le pont est constitué par deux branches égales, A et C, comportant chacune deux électro-graduateurs, E, de 500 ohms et une résistance inerte, R, de 1.000 ohms; un condensateur C', de deux microfarads, placé entre le « Hughes extrême », H, et le pont, complète l'amortissement des émissions, comme nous l'avons exposé plus haut; l'agencement du Hughes proprement dit ne présente rien de particulier.

Sur la diagonale du pont est placé le second Hughes, H'. Cette communication ne comporte pas de terre; la ligne L est amenée à la borne « ligne » du Hughes, la ligne L' à la borne « terre », toutes deux à travers un électro-graduateur, E'; la pile, de 120 éléments Callaud, a son pôle positif relié à un graduateur, qui le renvoie ensuite à la borne P du Hughes; le pôle négatif est en communication avec la borne T, c'est-à-dire avec la ligne L' : on a donc là un circuit fermé métalliquement par un fil de retour, comme celui du téléphone. Enfin, les deux côtés de la diagonale sont séparés par un condensateur C''.

Lorsque l'extrême transmet, ses courants se bifurquent, au point P, en deux parties égales : les points A et C se trouvent au même potentiel et le Hughes de la diagonale ne reçoit aucun courant. Les deux lignes sont parcourues dans le même sens par les signaux qui, à l'autre poste, se rejoignent au pont pour aller actionner le Hughes extrême, H; la diagonale BD n'est pas plus influencée que AC. Quand le Hughes-diagonale, H, transmet, ses courants parcourent la ligne L dans le sens A B et, après avoir traversé l'appareil correspondant, reviennent par la ligne L', dans le sens de DC, pour rejoindre le pôle négatif de la pile. Il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est à remarquer qu'une dérivation s'établit par APC d'un côté, par BPD de l'autre, mais ces dérivations ayant chacune 4.000 ohms de résistance, ne détournent pas des appareils une fraction importante du courant. Il convient de noter, en outre, que, le circuit de la diagonale étant fermé sans terre, le courant ne peut se dériver, au point P, à travers le Hughes extrême.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXV

APPAREIL HUGHES A EMBRAYAGE MAGNÉTIQUE

Principe. — L'idée d'adapter à l'appareil Hughes un système d'embrayage magnétique, analogue à ceux utilisés dans l'industrie, notamment par M. de Beauvais, avait été émise, depuis quelque temps déjà, par M. Estaunié, alors directeur de l'Ecole professionnelle supérieure, dans son « Cours de Télécommunications »; mais des difficultés d'ordre technique se sont dressées dès l'abord, à cause des proportions relativement minimes du dispositif à imaginer, ce qui modifiait profondément les conditions de réalisation : on sait, en effet, combien une petite dynamo, par exemple, construite en réduction d'une grande, présente un rendement peu avantageux, par comparaison avec cette dernière. Cela tient à une foule de causes, parmi lesquelles figure, pour un facteur important, l'impossibilité de réduire, dans les mêmes proportions que le reste, l'intervalle ou entrefer laissé entre l'inducteur et l'induit. Or, l'application au Hughes de l'embrayage magnétique se présentait dans ces conditions défavorables, vu les limites étroites dans lesquelles il fallait, sans transformer profondément l'appareil, le faire fonctionner, tout en assurant, dans de bonnes conditions, le travail mécanique nécessaire.

Les recherches, faites au laboratoire de l'Ecole professionnelle supérieure par MM. Pecquet et Decoin, interrompues depuis quelque temps, vont être reprises sous peu; elles ont déjà, pour l'instant, abouti à l'élégante solution que nous allons exposer

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les seules modifications qu'ait subies l'appareil intéressent l'extrémité antérieure de l'axe du volant et l'arbre des cames : la figure 243 nous donne une vue d'ensemble du système : aux lieu et place du rochet de détente, une bobine d'entraînement, B, en fer doux, que nous décrirons en détail plus loin; vis-à-vis de celle-ci et à une distance de 1 $^{m/}_{/m}$ environ, est fixé, sur l'arbre des cames, un plateau ou armature A, également en fer doux, qui sera attiré lorsqu'un courant parcourra la bobine : l'arbre des cames, sous cette attraction, se déplacera longitudinalement, et, le plateau s'appliquant sur les noyaux circulaires de la bobine, les deux axes feront corps et tourneront ensemble.

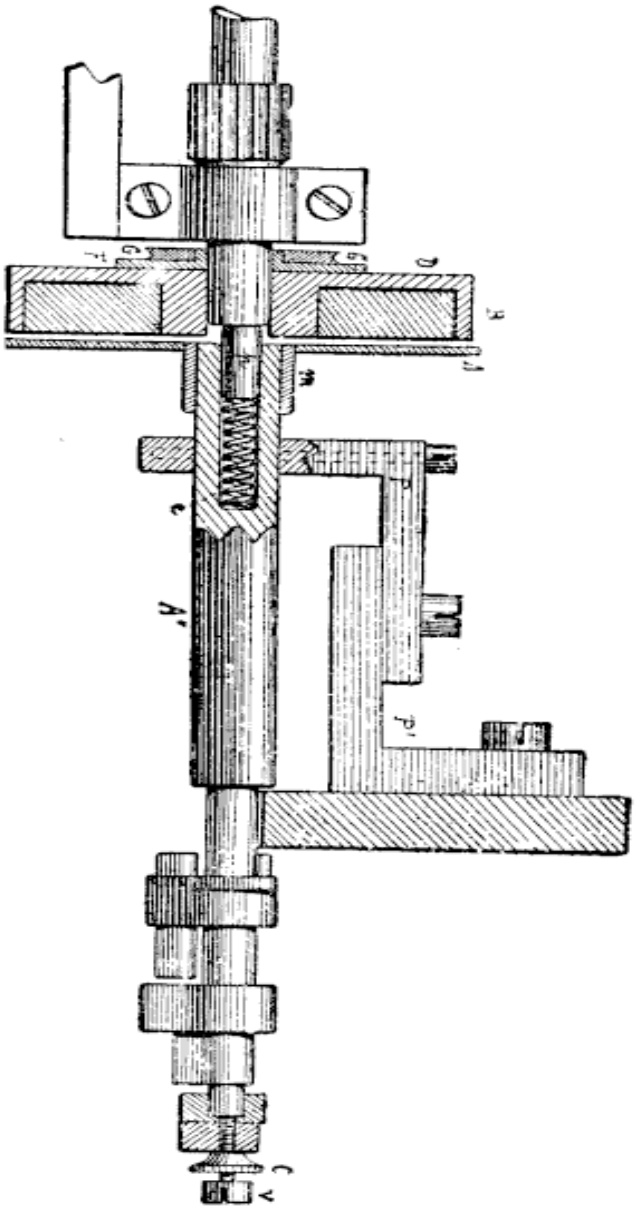


Fig. 279. — Embrayage magnétique. (Vue d'ensemble et coupe.)

Examinons maintenant l'agencement des divers organes.

Bobine d'entraînement. — La bobine est constituée par un disque en fer doux, D (fig. 279), dans lequel on a évidé au centre un trou circulaire, destiné à laisser passer l'axe, et, à sa partie médiane, une couronne dont la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coupe serait un U carré : la bobine présente ainsi, sur sa face antérieure, un noyau central et une couronne pleine B, dont le plus grand diamètre est égal à celui du disque; le premier est plus épais que la seconde, afin d'offrir une égale surface d'attraction.

Le fil est logé dans l'évidement situé entre ces deux parties polaires; l'une des extrémités du fil est soudée au disque, qui prendra terre par le massif même de l'appareil ; l'autre aboutit à une petite poulie, G, fixée derrière le disque, dont elle est isolée par une plaquette de fibrine, F; cette poulie jouera le rôle dévolu au collecteur dans les moteurs et dynamos; elle est entaillée d'une gorge dans laquelle, pendant qu'elle tournera, viendra s'appuyer un petit frotteur métallique : celui-ci amènera le courant qui doit parcourir les spires de fil. Enfin, la bobine est protégée par une couronne de mica, collée à la gomme laque comme le fil lui-même, et qui empêche l'introduction d'huile et la détérioration de l'isolant.

Le frotteur (fig. 280) est formé d'un fil de laiton, contourné sur lui-même vers la moitié de sa longueur, pour lui donner de l'élasticité; l'une de ses extrémités frotte, comme nous l'avons dit, dans la gorge de la poulie G; l'autre est encastrée dans un plot, monté sur l'entretoise de gauche du bâti de l'appareil.



Fig. 280.

Ce plot (fig. 281), isolé de l'entretoise par la double équerre en ébonite, E, qui le supporte, se termine, à chacune de ses extrémités, par une vis : sous celle d'arrière, V, est serré le fil venant du relais qui commande l'appareil; l'autre V', fixe le bout du frotteur, engagé dans un trou percé à travers le plot. Celui-ci est monté à frottement sur son équerre en ébonite, de manière qu'en le faisant tourner plus ou moins, on puisse

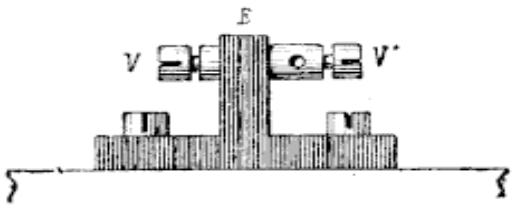


Fig. 281. — Support du frotteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

régler la pression du frotteur sur la poulie, sans avoir à déformer le premier.

Armature. — L'armature A (fig. 279) est constituée par un plateau en fer doux, assez mince pour ne pas opposer une très grande inertie au déplacement de l'arbre des cames lors de l'attraction, et surtout pour que sa force vive, au moment du désembrayage, soit aussi peu considérable que possible : l'armature est isolée magnétiquement de l'arbre des cames, par un manchon eu laiton, *m*.

Elle est maintenue éloignée de la bobine par le dispositif suivant : à l'intérieur du trou cylindrique, foré dans l'arbre des cames, est enfermé un ressort à boudin, *r*, qui tend à chasser au dehors un piston en acier, *p*; celui-ci vient s'appuyer en bout, dans l'évidement de la bobine, sur l'extrémité antérieure de l'axe du volant, dont l'olive a été supprimée (v. fig. 74, p. 107), de telle sorte que la pression du ressort aboutit à rejeter l'arbre des cames d'arrière en avant : c'est ainsi qu'il agira, après chaque attraction, pour ramener l'arbre à sa position de repos. Il est à remarquer que le piston *p* ne remplace pas l'olive de l'axe du volant qui, dans le système ordinaire, soutient l'arbre des cames à sa partie postérieure; ce point d'appui est avantageusement remplacé par un palier P, monté lui-même sur le pont du chariot P' : on sait, en effet, que, lorsqu'un Hughes ordinaire tourne sans travailler, ce qui est trop souvent le cas dans les postes pourvus de remontoirs automatiques, l'olive s'use assez rapidement et qu'il en résulte un jeu appréciable de l'arbre des cames (c'est d'ailleurs ce qui a motivé la proposition de M. Hilten, mentionnée à la page 112); avec ce dispositif, le piston et l'axe du volant s'usent en bout, ce qui n'offre aucun inconvénient. Le coussinet, marqué H' sur ladite figure 74, a été également supprimé : l'arbre des cames est donc soutenu seulement par le pontet d'avant et le palier P.

Sur le diamètre qui se trouve horizontal à la position de repos, l'armature porte un doigt d'arrêt *d* (fig. 282), qui s'appuie sur une butée élastique, B'; celle-ci consiste

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en une plaquette en acier, portée par un ressort-lame; ce dernier est, lui-même, fixé par une vis à une plate-forme montée sur l'entretoise K de l'appareil (celle sur laquelle se trouve déjà le support du frotteur); le trou percé dans le ressort, et dans lequel passe la partie lisse de la vis qui le fixe, est ovalisé, ce qui permet de régler convenablement la position de la butée par rapport au doigt d'arrêt.

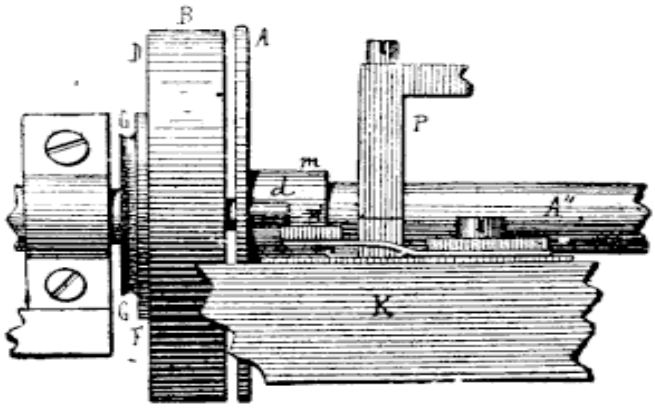


Fig. 282. — Profil.

Dans le but de faciliter, avant la fin de la révolution, le décollement de l'armature, que le magnétisme rémanent tend à maintenir au contact des couronnes polaires, l'armature est composée, en réalité, de deux parties : l'une, la plus grande, A, fixée par son manchon, *m* à l'arbre des cames A'' (fig. 283); l'autre, A', celle qui porte le doigt *d*, articulée à charnières sur la précédente; enfin, un ressort-lame, R, maintenu par des vis sur chacune des deux parties, est armé de manière à faire pivoter légèrement A' : le doigt *d* se trouve ainsi, au repos, rejeté vers l'avant de l'appareil et s'appuie par une plus grande longueur sur la butée B', ce qui constitue un autre avantage de ce dispositif. Lors de l'attraction, cette partie articulée se trouve redressée et s'applique, comme l'autre, exactement sur les couronnes polaires de la bobine; mais, lorsqu'a cessé l'émission, le ressort-lame R arrache la partie A' du contact, malgré le magnétisme ré-

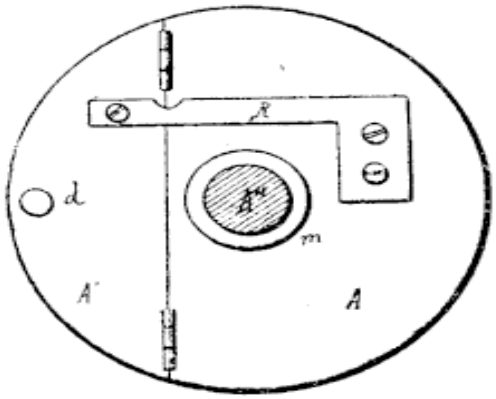


Fig. 283. — Armature

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

manent, et facilite ainsi la tâche du ressort à boudin, qui doit décoller la partie A et ramener tout l'arbre au repos.

Ajoutons que, dans le prototype actuellement en essai, la distance au repos entre la bobine et le plateau est réglée à l'aide d'une vis v (fig. 279), en acier, avec contre-écrou en laiton C, portée par le pontet d'avant de l'arbre des cames : en enfonçant cette vis, on pousse l'arbre d'avant en arrière et on rapproche l'armature de la bobine; on immobilise ensuite la vis à l'aide du contre-écrou.

Fonctionnement. — Lorsqu'un courant traverse la bobine en marche, l'armature est attirée et, avec elle, l'arbre des cames, qui se déplace d'avant en arrière; la partie articulée de l'armature se redresse et arrive au contact des couronnes polaires en même temps que celle sur laquelle elle est mobile; le doigt d'arrêt est dégagé : l'arbre des cames fait ainsi corps avec l'axe du volant, qui l'entraîne dans son mouvement, malgré l'opposition du ressort à boudin enfermé dans la cavité du premier, et qui tend à séparer les pièces en contact. L'expérience prouve que l'émission proprement dite dure assez longtemps pour que l'embrayage soit assuré, sans glissement, pendant le plus fort travail de l'arbre des cames (correction, inversion, impression), qui est terminé à la fin du premier demi-tour (v. p. 148); la self-induction de la bobine et la rémanence continuent l'attraction pendant un instant et permettent à la came de progression de remplir, à son tour, sa fonction; un peu avant que la partie extrême de cette dernière ait dépassé le bec du levier de progression, l'action magnétique est assez atténuée pour que le ressort-lame, qui agit sur la partie A' de l'armature, arrache celle-ci à l'attraction des noyaux; aussitôt, le ressort à boudin, qui s'est trouvé comprimé lors de l'embrayage, rejette l'arbre des cames vers l'avant de l'appareil et sépare ainsi le reste de l'armature des couronnes polaires : la vitesse acquise et, ensuite, l'action du levier de progression sur sa came, permettent à l'arbre de continuer le mouvement; le doigt d'arrêt vient rencontrer sa butée élastique, sur laquelle il reste maintenu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par la pression du même levier de progression (v. p. 146).

Tout comme dans le Hughes ordinaire, lorsque l'émission a été envoyée avant que l'appareil ait pris sa vitesse normale, l'attraction peut cesser avant que la came de progression ait fini de refouler son levier : l'armature reste alors en route, mais il ne se produit aucun grincement, ni aucune détérioration; il suffit de pousser, avec la main, l'armature dans le sens de son mouvement, pour ramener le doigt d'arrêt contre sa butée : le pourtour de l'armature a été moleté pour faciliter cette manœuvre.

Il convient de noter que cet embrayage est beaucoup moins brutal que celui que nous avons précédemment décrit; la légèreté relative de l'armature réduit au minimum sa force vive et l'élasticité de la butée d'arrêt amortit notablement le choc à la fin du tour; en outre, lorsque la bobine est parcourue par un courant continu, la « roulade » qui en résulte se fait sans autre bruit que celui des cames, car, l'armature ne quittant pas les noyaux, le doigt d'arrêt ne rencontre jamais la butée et l'arbre des cames, comme celui du volant, tourne d'un mouvement absolument continu : il ne s'ensuit donc aucun dommage pour l'appareil; enfin, dans le système ordinaire, lorsqu'un choc se produit entre la came correctrice et une dent de la roue, l'une des pièces en présence peut être brisée, et il y a, pour cela, d'autant plus de chances que le volant est plus serré sur son assiette; avec cet embrayage, la même rencontre anormale se produisant, il est à présumer que le glissement du volant sera complété par un autre glissement de l'armature sur les couronnes polaires de la bobine, et que la rupture des pièces sera évitée.

Communications électriques. — La figure 284 ci-dessous nous montre l'agencement des communications électriques : aux trois bornes que comporte le Hughes ordinaire, en sont ajoutées deux, correspondant respectivement à l'entrée et au massif d'un relais; celui-ci, recevant les courants de ligne, commandera la bobine d'entraînement dont l'entrée, par l'intermédiaire du frotteur, est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reliée à la borne *Local* (nous examinerons plus loin les considérations qui militent en faveur de l'adjonction d'un relais). La sortie de la bobine est réunie, comme nous l'avons dit, au massif de l'appareil, en communication lui-même avec la borne T, ce qui a nécessité le sectionnement du levier de

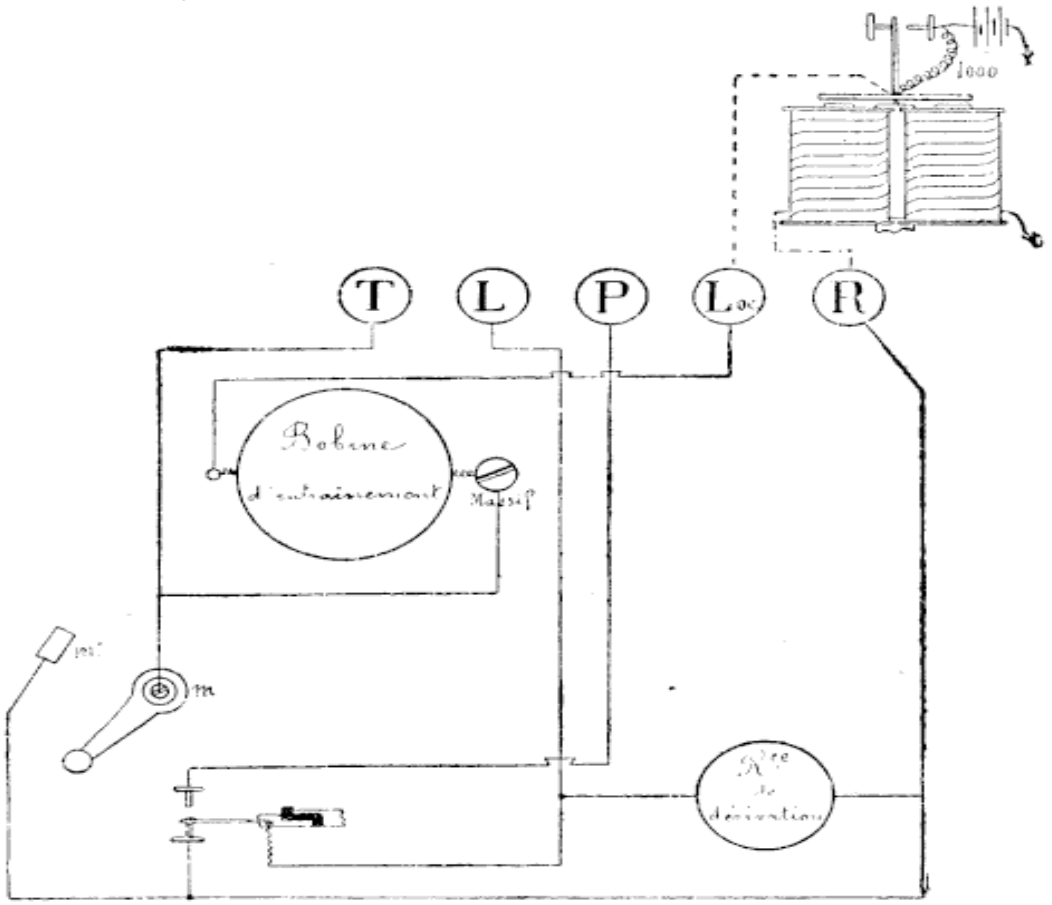


Fig. 284. — Hughes à embrayage magnétique : Communications

transmissions en deux parties isolées l'une de l'autre, comme dans les Hughes du Poste Central de Paris (v. p. 269). Rappelons, à ce propos, que l'Administration a décidé d'appliquer progressivement cette disposition à tous les appareils : celui qui nous occupe ici est donc conforme à la règle qui sera bientôt générale.

Un courant venant de la ligne par la borne L, arrive à la partie isolée du levier de transmission, passe dans la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

butée de repos de celui-ci et va faire fonctionner le relais : ce dernier envoie son courant local dans la bobine d'entraînement. Au départ, le contrôle est obtenu par une dérivation, prise sur le levier de transmission, à travers une résistance appropriée, et qui va, par la borne R, faire fonctionner le relais : celui-ci actionne la bobine comme à la réception.

De même qu'au Poste Central, la manette *m* est en communication avec la terre et le plot *m'* avec la butée de repos du levier de transmission.

Un shunt de 1.000 ohms, placé entre le butoir de travail et l'armature du relais, évite l'étincelle entre ces pièces de contact. Il a paru avantageux de placer de la sorte le shunt, au lieu de le mettre simplement en dérivation sur l'entrée de la bobine d'entraînement : le faible courant qui, entre les signaux, parcourt ainsi cette dernière détermine comme une sorte d'amorçage magnétique de celle-ci et concourt à la rapidité de son action.

Considérations générales. — Nous avons noté, chemin faisant, quelques-uns des avantages que paraît présenter le nouveau système : simplification du mécanisme de détente, atténuation importante de la brutalité inhérente au fonctionnement même de l'appareil, diminution des chances de rupture de pièces en cas de choc, suppression des divers réglages se rapportant à la détente et de celui, assez délicat, de l'électro-aimant. Il est vrai que ce dernier réglage est remplacé par celui du relais et c'est là, croyons-nous, le point sur lequel porteront principalement les objections opposées au système qui nous occupe.

L'introduction de cet organe supplémentaire présente, comme toutes choses, ses avantages et ses inconvénients. Nous n'avons pas qualité pour départager partisans et adversaires, et nous nous bornerons à mentionner les raisons qui militent pour ou contre cette introduction, laissant à des plumes plus autorisées que la nôtre le soin de faire la balance.

Depuis quelques années, on tend, en Angleterre notam-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment, à généraliser l'emploi de relais, affectés en propre à chaque ligne, et actionnant, par un courant local, les appareils récepteurs; cette méthode entraîne l'obligation d'établir entre chacun de ces derniers et la rosace des fils, deux conducteurs supplémentaires, les reliant à l'entrée et au massif du relais; son adoption dans les grands centres, tel que le Poste Central de Paris, n'irait pas sans un certain bouleversement; elle nécessiterait, en outre, la transformation des bobines réceptrices des appareils et l'adoption d'un système particulier de renvois, évitant les manœuvres multiples à chaque changement de fil de ligne; enfin, un personnel spécial devrait être affecté à l'entretien et à la surveillance des relais; toutes choses qui, en bonne exploitation, doivent entrer en ligne de compte.

A côté de ces facteurs défavorables, l'emploi du relais présente d'incontestables avantages, au point de vue de la régularité du fonctionnement : le relais, auquel on ne demande aucun travail mécanique, doit être beaucoup moins affecté par les variations de l'intensité des courants de ligne, variations résultant des influences extérieures; l'appareil ne recevant que des courants locaux, ceux-ci sont constamment égaux à eux-mêmes et il est toujours loisible de leur donner l'intensité qui convient au genre de travail qu'on en attend.

Si l'on considère l'influence que peut avoir le récepteur sur la forme de la courbe d'intensité à l'arrivée, on voit que celle-ci ne sera pas la même, suivant qu'on recevra les émissions dans un relais ou directement dans l'appareil : l'électro-aimant Hughes a une grande résistance (1.200 ohms) et une grande self-induction (environ 30 henrys au repos [1]) par suite de sa masse et de la fermeture complète de son champ magnétique, tandis que le relais Baudot, par exemple, n'oppose au courant que 200 ohms et 4 ou 5 henrys. On voit que, toutes choses égales d'ailleurs, la

1. Le henry est l'unité C. G. S. d'induction, c'est « l'induction d'un circuit lorsque la force électromotrice induite dans ce circuit est égale à 1 volt et que le courant inducteur varie au taux de 1 ampère par seconde ».

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courbe sera plus redressée avec le second qu'avec le premier: cette circonstance, nous l'avons démontré (p. 92), est éminemment favorable à la régularité du fonctionnement des appareils dans lesquels les signaux sont différenciés par le *moment* de leur apparition. Le même avantage se présente lors de la décharge, qui est d'autant plus rapide que les deux facteurs ci-dessus sont moins importants.

En allant plus loin encore et en employant des relais à cadre galvanométrique (relais Claude, par exemple) qui sont presque complètement dépourvus de self-induction on rendrait meilleures encore les conditions du fonctionnement; enfin, on pourrait, tout en se maintenant dans les limites convenables, diminuer le voltage des piles de transmission, ce qui aurait pour résultat d'atténuer les effets d'induction électro-statique et électro-dynamique qui, avec la décharge, constituent l'une des principales entraves aux communications par les lignes souterraines (v. p. 367). Dans l'état actuel, les essais déjà faits laissent espérer qu'avec le nouveau système on pourra, toutes autres choses restant égales, augmenter la vitesse de rotation de l'appareil, c'est-à-dire le rendement des conducteurs.

La voie nouvelle, ainsi ouverte, justifiera-t-elle, dans le domaine de l'exploitation, ce qu'elle a, pour l'instant, de séduisant? l'expérience seule le dira; mais il semble que les résultats déjà obtenus doivent constituer un puissant encouragement à la poursuite des études entreprises au laboratoire de l'Ecole professionnelle supérieure et qui, nous l'avons dit plus haut, vont reprendre incessamment.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 5

PREMIÈRE PARTIE

Éléments de mécanique et d'électricité.

I

ÉLÉMENTS DE MÉCANIQUE

Idée générale des forces. Inertie 7
Centre de gravité 9
Idée générale du mouvement 10
Force centrifuge 11
Travail. Puissance 12
Transmission du mouvement. Choc 14
Vitesse acquise 14
Résistances passives 15
Leviers 18
Excentriques. Cames 20
Poulie 21
Roues dentées. Engrenages 22
Rochet 24
Crémaillère. Roue d'angle. Isochronisme 25
Volant. Régulateur 27

II

ÉLÉMENTS D'ÉLECTRICITÉ

Pile 29
Polarisation 31
Différents systèmes de piles 32
Groupement des piles 33
Circuit électrique 34
Emploi de la terre 35
Courants positif et négatif 36
Volt. Résistance. Ohm 38
Intensité. Loi d'Ohm 38
Ampère 41
Dérivations 41
Magnétisme. Electro-magnétisme 43
Electro-aimants 46
Magnétisme rémanent 47
Electro-aimants polarisés 48
Induction 50
Self-induction 52
Shunt 53
Electricité atmosphérique 54
Courants telluriques 55
Charge et décharge 56
Capacité d'un conducteur 58
Propagation des courants 60

DEUXIÈME PARTIE

Appareil Hughes.

III

PRINCIPE DE L'APPAREIL HUGHES

Différenciation des signaux 63
Division du temps 64
Synchronisme 66
Vue d'ensemble du système Hughes 70
Combinaisons 74

IV

MANIPULATEUR

Clavier 76
Boîte à goujons 78
Chariot 81
Fonctionnement 85
Rôle de la plaque de sûreté 86

V

ELECTRO-AIMANT

Avantages de l'électro-aimant polarisé 91
Description 95
Electro-aimant Poëncin 99
Induction produite par l'armature 100
Interrupteur automatique 101
Dérivation 103
Commutateur inverseur 103

VI

DÉTENTE

Rôle de la détente 105
Levier de la détente 105
Arbre des cames 107
Embrayage 109
Rappel de l'armature 109
Désembrayage 110
Suppression de l'olive 112
Embrayage Poëncin-Eglin 112
— Audu — 116
Déclanchement automatique Terral et Mandroux 117
Déclanchement automatique Galoché et Poëncin 118

VII

ROUES DES TYPES, DE CORRECTION ET DE FROTTEMENT

Axe de la roue des types 119
Roue des types 120
Roue correctrice 122

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Roue de frottement..... 122
Rappel au blanc..... 125
Rappel Schils..... 129
Inversion..... 132

VIII
IMPRESSION

Mécanisme d'impression..... 136
Came de dégagement..... 137
Came correctrice..... 137
Came et Levier d'impression.. 139
Axe du Levier d'impression.. 141
Came et Levier de progression..... 145
Fonctionnement..... 146
Netteté de l'impression..... 151
Impression Guénaire..... 151

IX
ORGANES DU MOUVEMENT

Poids moteur..... 156
Remontoir à pédale..... 160

X
RÉGULARISATION DU MOUVEMENT

Isochronisme..... 163
Rôle du régulateur..... 165
Axe du volant..... 167
Levier d'arrêt..... 168

XI
RÉGULATEURS

Régulateur Hughes..... 170
Frein..... 172
Fonctionnement..... 173
Inconvénients..... 175
Régulateur Siemens..... 176
— Koch..... 179
Récapitulation..... 182

XII
SYNCHRONISME

Imperfection des régulateurs.. 184
Variations dans le soulèvement de l'armature..... 186

XIII
MOTEURS ET DYNAMOS A COURANT CONTINU

Avantage des remontoirs automatiques..... 190
Différents systèmes..... 191
Théorie générale des moteurs électriques..... 191
Collecteur..... 193
Calage des balais..... 194
Anneau Gramme..... 194
Anneaux dentés..... 197
Tambour Siemens..... 197
Réversibilité..... 198
Générateurs mécaniques de courant continu..... 198
Machines magnéto et dynamo-électriques..... 200
Force contre électromotrice des moteurs..... 201
Moteurs à courant continu.... 203
Moteur Carpentier..... 206

XIV
COURANTS ALTERNATIFS

Courants alternatifs..... 210
— simples..... 210
Période. — Fréquence..... 211
Alternateurs..... 211
— bipolaires..... 212
— multipolaires..... 212
— polyphasés..... 213
DONNÉES THÉORIQUES
Circuit sans self-induction ni capacité..... 216
Circuit avec self..... 216
Circuit avec capacité..... 219
Self et capacité en série..... 222
— — en dérivation. 223
MESURE DES COURANTS ALTERNATIFS
Puissance électrique..... 225
F.-é.-m. et intensité efficaces.. 226
Puissance apparente. Puissance réelle..... 227
Courants déwattés..... 230
Transformateurs..... 230
Transformation de l'énergie.. 232
Variations dans le secondaire. 233

XV
ALTERNOMOTEURS

Moteurs synchrones..... 235
Réversibilité des alternateurs. 235
Moteurs asynchrones..... 235
— à collecteur..... 235
Champs tournants..... 236
Réaction sur l'induit..... 240
Glissement..... 241
Puissance absorbée..... 241
Champs tournants multipolaires..... 242
Nombre de fils de ligne..... 243
Champs tournants monophasés..... 244
Alternomoteurs..... 245
Wattmètre..... 248
Avantages des courants alternatifs..... 249

XVI
REMONTOIRS AUTOMATIQUES

Remontoir électrique..... 251
— Aubry..... 253
— Galoché..... 253
Interrupteur..... 253
— Damiens..... 254
Commutateur. Coupe-circuit... 256
Remontoir avec alternomoteur..... 257

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Remontoir Popp..... 258
Moteurs appliqués directement aux rouages..... 260

XVII

COMMUNICATIONS ÉLECTRIQUES

Installation du poste..... 262
Boîte Blanchon..... 264
Appareil modèle 1879..... 265
Interruption et dérivation..... 267
Manette..... 267
Ressort isolé du rappel au blanc..... 267
Hughes du Poste Central..... 268

XVIII

RÉGLAGE

Entretien de l'appareil..... 271
Démontage..... 272
Manipulateur..... 276
Electro-aimant..... 282
Levier de détente..... 289
Plaque de détente..... 293
Roue des types..... 296
— correctrice..... 299
— de frottement..... 301
Rappel au blanc..... 302
Came correctrice..... 305
Progression..... 306
Impression..... 308
Volant..... 311
Volant..... 311
— Siemens..... 318
Régulateur Koch..... 319
Organes du mouvement..... 324
Remontoir à pédale..... 324
— électrique..... 325
— Popp..... 326
Moteurs électriques..... 326

XIX

RÉGLAGE EN LIGNE

Réglage du synchronisme..... 328
— de l'électro-aimant... 330

XX

DÉRANGEMENTS

Vérification de l'appareil..... 332
Impression défectueuse..... 333
Progression irrégulière..... 335
Déclanchements continus..... 336
Grincements..... 336
Rappel au blanc défectueux.. 337
Arrêts brusques..... 338
Ballottement de la tige..... 338
Variations de vitesse..... 339
Ralentissements..... 340
Déraillements..... 342
— en avance..... 343
— en retard..... 345
L'appareil part du Z..... 345
Remontage défectueux..... 346

DÉRANGEMENTS ÉLECTRIQUES

Vérification générale..... 346
Recherche d'un isolement..... 349
— d'une dérivation... 350

TROISIÈME PARTIE

Lignes souterraines et relais translateurs.

XXI

LIGNES SOUTERRAINES

Origines du réseau souterrain. 353
Constitution d'une ligne..... 354

EXPLOITATION DES LIGNES SOUTERRAINES

Condensateur..... 359
Diélectrique..... 362
Capacité d'un condensateur... 363
Comparaison entre les lignes aériennes et les lignes souterraines..... 364
Piles à faible voltage..... 367
Sectionnement des lignes..... 369
Positif comme courant de repos..... 370
Décharge. Bobine Godfroy.... 373
Décharge Sarthou..... 377
Réglage des Hughes sur les lignes souterraines..... 377

XXII

RELAIS TRANSLATEURS

Principe..... 381
Relais Froment..... 382
Décharge..... 383
Relais polarisés..... 383
Translateur d'Arlincourt..... 384
Coup de fouet..... 385
Translation..... 386
Relais Willot..... 388
Tanslateur d'Arlincourt-Willot. 392
Translateur Willot..... 393
Parleur de décharge..... 395
Installation du translateur.... 397
Réglage du relais..... 397
— du parleur..... 399
Translation et décharge Sarthou..... 400
Translateur Robichon..... 403
Relais Baudot..... 403
Fonctionnement..... 407
Modification Robichon..... 408
Parleur de décharge..... 411
Planchette de translation..... 413
Réglage du relais..... 415
— du parleur..... 420

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME PARTIE
Appendice.

XXIII
ACCUMULATEURS

Electrolyse. Voltamètre..... 422
Accumulateur Planté..... 425
Formation électrolytique..... 426
Formation artificielle..... 427
Constantes. Régimes..... 428
Accumulateurs en usage au Poste Central..... 429
Installation du Poste Central... 432
Echelle de potentiels..... 434

XXIV
NOTIONS SUR LES MESURES ÉLECTRIQUES USUELLES

Galvanomètre..... 437
Boussole des sinus..... 439
Voltmètre. Ampèremètre..... 441
Rhéostat..... 442
Pont de Wheatstone..... 443
Condensateurs..... 447
Résistance d'un fil..... 448
Résistance d'une pile..... 449
Mesure de la capacité d'un conducteur souterrain..... 450

XXV
DUPLEX, TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE SIMULTANÉES. DIPLEX

Duplex..... 452
Méthode différentielle..... 452
Réglage..... 457
Méthode du Pont..... 458
Télégraphie et téléphonie..... 460
Diplex Dejongh..... 461

XXVI
APPAREIL HUGHES A EMBRAYAGE MAGNÉTIQUE

Principe..... 464
Bobine d'entraînement..... 465
Armature..... 467
Fonctionnement..... 469
Communications..... 471
Considérations générales..... 472

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

Accumulateurs..... 422
Aimant permanent..... 43 53
Alternateurs..... 241
Alternatifs (courants)..... 210
Alternomoteurs..... 235
Ampère..... 41 436
Ampèremètre..... 441
Anneau Gramme..... 194
Anneaux dentés..... 197
Arbre. (V. axe.)
Armature..... 97 282
— (dérivation par l'), ... 103 267
— (rappel de l')..... 169 290
— (réglage de l')..... 282
Arrêt (levier d')..... 168
Arrêts brusques..... 338
Axe des cames..... 107
— du chariot..... 81
— du levier de détente.. 105 289
— du levier d'impression 144 310
Axe de la roue des types.. 119 296
— du volant..... 167 311

B

Ballottement de la tige..... 338
Barillet d'impression..... 140 569
Bobine Goulfroy..... 53 373
Boîte à goujons..... 78 276
Boîte Blanchon..... 261
Boussole des sinus..... 439

C

Calage des balais de moteurs.. 194
Cames..... 20
Cames (axe des)..... 107 137
Came correctrice..... 157 305
— de dégagement..... 128 137
— d'impression..... 139 508
— de progression..... 143 306
Capacitance..... 222
Capacité (effets de la)..... 219
— d'un condensateur... 363
— d'un conducteur.. 59 450
— inductive spécifique.. 362
Centre de gravité..... 9
Chaîne de Galle..... 157 324
Champ électrostatique..... 359
Champ magnétique..... 43
— tournant..... 236
Chape fixe..... 82 279
Chape mobile..... 82 279
Charge et décharge..... 56
Chariot..... 81 279
Cheval-vapeur..... 13 226
Choc..... 11
Chocs (arrêts brusques)..... 338
Circuit électrique..... 34
Clavier..... 76 276
Cliquet de correction..... 124 300
— de détente..... 166 293
— d'entraînement.... 161 324
— de progression.... 145 307
— de retenue..... 161 324

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Collecteur..... 193
Combinaisons..... 74
Communications électriques... 262
Commutateur inverseur..... 103
— pour moteurs.... 256
Condensateur..... 359 447
Correction (came)..... 137 305
— (roue de)..... 122 299
Coulomb..... 364 423
Coup de fouet..... 385
Coupe-circuit..... 256
Courants alternatifs..... 210
— de Foucault..... 197 236
— dewattes..... 230
— de repos (positif comme)..... 370
Courants positif et négatif..... 36
Courants telluriques..... 55 379
Crémaillère..... 24

D

Décalage (Cts alternatifs)..... 216
Décharge (app. de)..... 373 383 395
— (charge et)..... 56
— Sarthou..... 377
Déclanchement automatique 117 281
Déclanchement continu.... 75 336
Dégagement (came de).... 128 137
Démontage..... 272
Déraillements..... 342
Dérangements électriques..... 346
— mécaniques.... 332
Dérivation..... 41
— par l'armature.. 103 267
— recherche d'une)— 350
Détente..... 105 289
— magnétique..... 464
Diélectriques..... 362
Différenciation des signaux.... 63
Diplex Dejongh..... 461
Division du temps..... 64
Duplex..... 452
Dynamos (machines)..... 200

E

Echelle de potentiels..... 434
Electricité atmosphérique..... 54
Electro-aimants..... 46
— — polarisés.... 48 91
— — Hughes. 95 186 .... 282 331 377
— — d'Arlincourt..... 384
— — Baudot..... 403
— — Willot..... 388
— — Poëcin..... 99
Electrolyse..... 371 422
Embrayage (cames)..... 109
— r. des types..... 122
— magnétique..... 464
— Audu..... 116
— Eglin..... 114
— — Poencin..... 112
Engrenages..... 22 157 324
Entretien de l'appareil..... 271
Equilibre..... 9
Equivalent électro-chimique... 425
Excentriques..... 20

F

Farad..... 364 436
Fer doux mobile..... 100
Forces (idée générale des)..... 7
Force centrifuge..... 11
— électro-motrice..... 29
— contre électro-motrice.. 201
F. é. m. alternative efficace.... 226
Force vive..... 15
Formation des accumulateurs.. 426
Foucault (courants de).... 197 236
Fourchette..... 141 310
Frein..... 172 314
Fréquence alternative..... 211
Frottements..... 16

G

Galvanomètre..... 437
Générateurs de courant continu..... 198
Glissement..... 241
Goujons (boîte à)..... 78
Grincements..... 111 131 336
Groupement des piles..... 33

I

Idée générale des forces..... 7
— du mouvement..... 10
Impédance..... 219
Imperfection des régulateurs.. 184
Impression..... 136 333
— Guénaire..... 151
Inconvénients du régulateur Hughes..... 175
Inductance..... 219
Induction électro-dynamique. 50 100
Induction électro-statique..... 359
Inertie..... 7
Intensité..... 38
— alternative efficace... 226
Interrupteur came correctrice..... 101
Interrupteur de remontoir..... 253
Inversion..... 132 299
Isochronisme..... 25 163
Isolement (recherche d'un).... 349

K

Kilogrammètre..... 12 226

L

Leviers (théorie des)..... 18
Levier d'arrêt..... 168
— de détente..... 105 289
— d'impression..... 139 308
— de progression..... 145 306
— transmission..... 84 280
Lignes souterraines..... 353

M

Machines électriques..... 436
Magnétisme. Electro-magnétisme..... 43

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Magnétisme rémanent..... 47
Manette..... 267
Manipulateur..... 76 276
Mesures électriques..... 436
Microfarad..... 364 436
Moteurs à collecteur..... 235
— à courant continu 191 203 326
— asynchrones..... 235 327
— synchrones..... 235

O

Ohm..... 38 436
Ohm (loi d')..... 38
Olive (suppression de l')..... 142
Organes du mouvement.... 156 324

P

Parleur Robichon..... 411
— Willot..... 395
Périodes alternatives..... 211
Pièces polaires..... 96 286
Piles..... 29 32 449
Plan incliné de correction 126 303
Plan incliné de détente.... 108 295
Plaque de détente..... 166 293
— de sûreté..... 86
Poids moteur..... 156
Polarisation (piles)..... 31
Polarisés (électro-aimants).. 48 91
— (relais)..... 383
Polyphasés (courants)..... 243
Pont de Wheatstone..... 443 458
Positif (courant)..... 36
— comme repos..... 370
Poulie..... 21
Progression..... 145 335
Propagation des courants 60 364
Puissance mécanique..... 12
— électrique..... 225

R

Ralentissements..... 340
Rappel au blanc..... 125 302 337
— Schils..... 329
— de l'armature..... 109 299
Réactance..... 222
Recherche d'un isolement..... 349
— d'une perte..... 350
Réglage..... 271
Régularisation du mouvement. 163
Régulateurs..... 27 165 184
— Hughes..... 170 312
— Koch..... 179 319
— Siemens..... 176 318
Relais translateurs..... 381
— d'Arlincourt..... 384
— Baudot..... 403
— Froment..... 382
— polarisés..... 383
— Willot..... 389
Remontoirs automatiques.. 190 ..... 251 325
Remontoir Aubry..... 253
— Galoché..... 253
— à pédale.... 160 324 346
— Popp..... 258 326
— avec alternomoteur. 257 325
Résistance électrique..... 38
Résistances passives..... 15
Résonance..... 223
Réversibilité..... 198 235
Rhéostat..... 442
Rochet..... 24
— du barillet..... 140
— de correction..... 122 301
— du remontoir..... 158
Roue d'angle..... 24
— correctrice..... 122 289
— dentée..... 22
— de frottement..... 122 301
— des types..... 120 296

S

Sectionnement des lignes..... 369
Self-induction..... 52
— (effets de la)..... 216
Shunt..... 53
Souterraines (lignes)..... 353
Synchronisme..... 66 184 328

T

Tambour Siemens..... 197
Tampon encreur..... 121 298
Télégraphie et Téléphonie simultanées..... 460
Telluriques (courants)..... 55
Terre (emploi de la)..... 35
Tige vibrante..... 170
Transformateurs..... 230
Translateurs (relais)..... 381
— d'Arlincourt..... 384
— Froment..... 382
— Robichon..... 403
— Sarthon..... 400
— Willot..... 389
Travail..... 12
Types (roue des)..... 120 296

V

Variations dans le soulèvement de l'armature..... 186
Variations de vitesse..... 339
Vérification de l'appareil..... 332
— électrique..... 346
Vitesse acquise..... 14
Volant..... 27 167 311
Volt..... 38 436
Voltamètre..... 422
Voltmètre..... 441

W

Watt..... 225
Wattmètre..... 230 248

Z

Z (l'appareil part de)..... 345 378

Sceaux. — Imprimerie Charaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

20.000 Candidats reçus en 10 ans

PRÉPARATION
RAPIDE
et
MÉTHODIQUE
des

CANDIDATES
et
CANDIDATS
par
le

« COURRIER des EXAMENS »
28, Rue Serpente - PARIS - 21e Année.

à
tous
EMPLOIS
des
Postes,
Télégraphes
et
Téléphones.

NAUD ° & ROLLIN °
DIRECTEURS

SPÉCIMEN GRATUIT

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires