

BIBLIOTHÈQUE HORLOGÈRE

L'Horloger- Electricien

PAR

G. ALBERT BERNER

avec 76 figures dans le texte

Préfaces de L. REVERCHON, Directeur
de la Revue *L'Horloger* (Paris)

et de Ch. PONCET, Directeur
de l'École Nationale d'Horlogerie de Cluses (Hte-Savoie)

DEUXIÈME ÉDITION
de l'Initiation de l'Horloger à l'Électricité

TOUS DROITS RÉSERVÉS

BIENNE et BESANÇON

E. MAGRON, ÉDITEUR

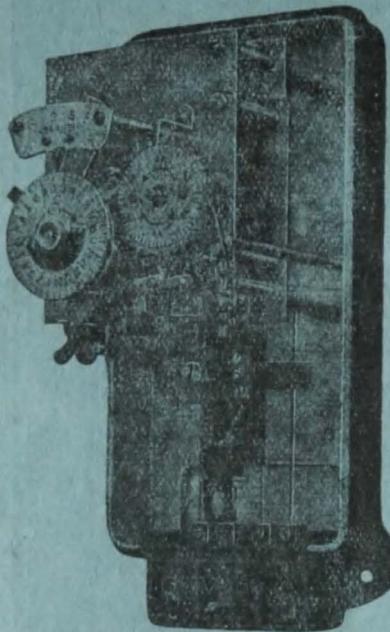
1926

FABRIQUE D'INSTRUMENTS DE PHYSIQUE
DE SONZOGNO

SOCIÉTÉ GENEVOISE D'INSTRUMENTS DE PHYSIQUE

(Fondée en 1861)

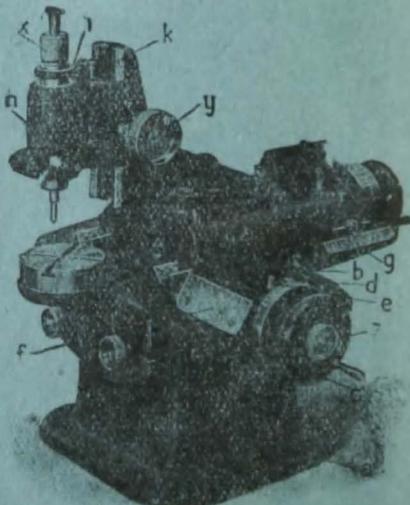
GENÈVE



— PENDULES —
DE
COMMUTATION
A
REMONTAGE
ÉLECTRIQUE
RÉALISANT
L'ENREGISTREMENT
DE
4 TARIFS AU MOYEN
d'UN SEUL FIL PILOTE
— (D. R. P.) —

MACHINES à POINTER
— ET A MESURER —
POUR FABRIQUES
D'HORLOGERIE

ÉTABLISSEMENT
Rationnel et Économique
de
CALIBRES de PÉRGAGE
MATRICES
- DÉCOUPOIRS, etc. -
POINTAGES PRÉCIS
à 1/1000^e de mm près



T. S. F.

Les haut-parleurs,
amplificateurs
et casques BROWN

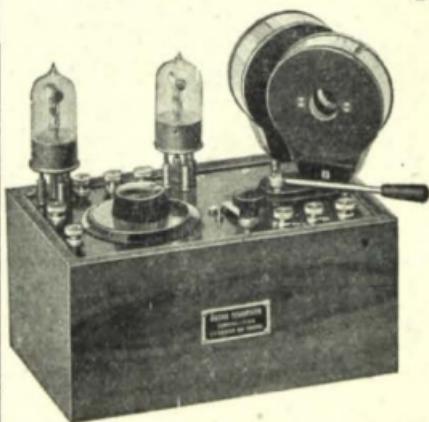
sont les accessoires indispensables de tout poste sérieux.

Amateurs, demandez à entendre fonctionner un BROWN que vous devez trouver chez tous les électriciens.



AGENCE GÉNÉRALE SUISSE
J. KNOEPFLER - Le Locle

Pièces détachées de première qualité



CONDENSATEURS

avec
réglage micrométrique
système breveté

POSTES COMPLETS
rendement insurpassable

André SCHNEIDER

Numa Droz, 29, LA CHAUX-DE-FONDS **Téléph. 11.49**

Représentants : MM. WENGER & C°, Zurich

Marienstr. 15

Fabrique des LONGINES
FRANCILLON & Co S. A.

DÉPARTEMENT DES COMPTEURS D'ÉLECTRICITÉ
CHASSERAL
SAINT-IMIER (Suisse)

COMPTEURS

pour courants alternatifs

mono- et polyphasés

courant continu

Tarifs simples ou multiples

Horloges commutatrices



Médaille d'Or, Berthoud 1924



Transformateurs pour T. S. F.

rapports 1/1, 1/3 et 1/5 toujours en stock, tous autres rapports et TRANSFORMATEURS SPÉCIAUX sur demande.
Amplification parfaite, aucune déformation.

PIÈCES DÉTACHÉES POUR T. S. F.

Brutes ou Nickelées

MOTEURS faible puissance pour usage domestique

→ DEMANDEZ NOTRE PROSPECTUS ←

PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Il existe une curieuse différence entre les serruriers et les horlogers.

Si humble que soit son échoppe, le serrurier y présente aux regards des passants une sonnerie, un paquet de fil souple, deux ou trois boutons, un commutateur et quelques éléments Leclanché.

« Tout serrurier veut être électricien ! » aurait écrit le bon La Fontaine, s'il eût connu l'électricité.

L'horloger, au contraire, le plus audacieux, le plus tranchant, celui qui affirme du ton le plus péremptoire, quelquefois même avant de l'avoir regardée, qu'une montre a un pivot flasqué et deux pierres cassées, prend immédiatement une allure craintive et fuyante lorsqu'on lui parle d'électricité.

L'électricité lui paraît une « chose énorme et surhumaine », domaine semé de chausses-trappes, de traquenards et de pièges à loups... ou à loupes !

Il semble que pour lui la Force électrique soit aussi mystérieuse encore qu'au temps lointain où le célèbre Otto de Guericke faisait tourner sa fameuse boule de soufre qui fut le principe de la machine électrique.

Mystérieuse, certes, elle l'est encore dans son essence, comme toutes les Forces de la nature du reste et, malgré les gros et nombreux volumes qu'un demi-siècle a accumulés sur la matière, nous sommes encore forcés de demeurer dans le champ des hypothèses comme au temps où les expériences de Lemonnier firent entrevoir à nos aïeux l'identité de nature entre la lumière et l'Electricité (1746).

Mais il n'est pas nécessaire de connaître le principe d'une force ni de le pouvoir analyser pour en tirer parti.

Et les manifestations de la Force électrique sont suffisamment connues, dans leurs plus minutieux détails, pour que l'horloger se dépouille d'une timidité qui n'a plus de raison d'être.

Ce qu'il lui faut pour cela, c'est un petit livre élémentaire qui le familiarise avec des principes que les gros bouquins entourent de trop de formules et d'expressions scientifiques.

Il faut que l'initiateur de l'horloger se fasse maître d'école élémentaire, considère son élève comme un enfant conjié à son savoir et lui parle le langage de tout le monde, le langage qu'on employait en parlant d'électricité, il y a cent cinquante ans, alors que les premiers expérimentateurs faisaient part au public de leurs observations et de leurs suppositions.

Lorsque M. D'Alibard communiquait à l'Académie royale des Sciences de Paris les résultats de la fameuse expérience de Marly (10 mai 1752), qui démontra d'une façon péremptoire l'exactitude de l'hypothèse de Franklin sur l'identité de l'électricité atmosphérique et de l'électricité statique, son mémoire pouvait être lu et compris par tous les Français instruits de l'époque. La lecture en était aussi intéressante que celle d'un feuilleton.

Les lettres de Franklin lui-même à Collinson, sur ses expériences de Philadelphie, présentent le même attrait.

Pour convaincre et instruire il faut plaire, et l'auteur qui veut avoir du succès, doit plus que tout autre se rappeler le vieux précepte du poète : Omne tulit punctum qui miscuit utile dulci. — L'utile entre dans l'intellect par le canal de l'agréable.

C'est à ce précepte que M. Albert Berner a voulu se conformer en écrivant son Initiation de l'horloger à l'électricité. Il a voulu leur montrer que les principes fondamentaux de la pratique et de la technique électrique n'ont rien d'effarouchant.

M. Albert Berner était tout qualifié pour entreprendre cette tâche. Elève de son père, qui dirige avec autorité et compétence

une des principales écoles d'horlogerie du monde, celle de *La Chaux-de-Fonds*, le grand centre de l'industrie horlogère, il est familier non seulement avec l'électricité, mais aussi avec les questions les plus délicates de l'horlogerie.

Et voici comment il procède pour chasser la crainte du cœur de l'horloger qui veut s'engager dans le domaine électrique.

Il le prend par la main et, par comparaison avec le plus familier des fluides — l'eau, la vieille et classique boisson des méchants, — il lui fait comprendre comment se comporte dans ses manifestations cette puissance à qui nous devons les manifestations terribles de la foudre et les insensibles oscillations à l'aiguille aimantée.

Il le conduit à la source qui sera chargée de lui fournir le courant, la modeste pile, dont il lui enseigne le maniement et l'emploi.

Gravissant quelques degrés de la science élémentaire, il le met en face de l'électro-aimant, ce levier général de mécanismes horlogers.

Quelques marches encore, et voici l'apprenti horloger-électricien en face du phénomène plus mystérieux de l'induction, sur lequel est basée la construction de ces merveilleux petits moteurs que nous manipulons comme des jouets, aussi bien que celle des formidables dynamos dont la puissance nous stupéfie.

Voici maintenant un palier.

La porte des diverses applications s'ouvre devant nous. L'appartement comporte plusieurs pièces, que M. Berner nous fait visiter après nous avoir initiés aux procédés de mesure du courant dont nous voyons les divers modes d'utilisation.

Et comme l'auteur entend ne rien laisser ignorer à ses élèves de ce qui peut les intéresser, avant de les quitter, il entr'ouvre la fenêtre de l'avenir et leur fait pressentir l'heure universelle, dégagée de la prison du fil conducteur et volant à travers les espaces infinis, dans le frissonnement des ondes hertziennes.

Et c'est fini !

Et l'aspirant qui a bien voulu se laisser guider dans cette petite excursion chez la fée électrique se trouve tout étonné d'avoir appris tant de choses sans difficulté.

Comme bien on pense, M. Albert Berner, s'étant imposé la tâche d'initier l'horloger à l'électricité et de ne dire que les choses essentielles, ne pouvait s'égarter dans l'inextricable fouillis des appareils dans lesquels la Force électrique prête son concours à la mécanique chronométrique.

Lorsque le comte Du Moncel publia la troisième édition de son magistral Exposé des applications de l'électricité, en 1885, il y avait quarante-cinq ans que Wheatstone avait signalé à l'Académie de Belgique le principe de la télégraphie de l'heure. Et déjà à cette date, bien que la science électrique fût loin d'avoir atteint la précision qu'elle a acquise en ces dernières années, il était presque impossible de s'y reconnaître à travers les applications de l'électricité à l'horlogerie. Du Moncel n'a pas consacré moins de 450 pages à ces applications : horloges, chronographes, enregistreurs.

Depuis cette époque, la forêt s'est épaissie. Les inventeurs se sont multipliés. Les réinventeurs également. Et l'on peut dire aujourd'hui que le nombre des types d'horloges électriques est comme celui des fous du temps de Salomon — et des siècles qui ont suivi le règne de ce grand roi — infini !

La pratique, c'est-à-dire le temps, se charge de mettre au point les inventions et réinventions, le vrai neuf et le vieux neuf, en délivrant aux appareils soumis à son épreuve le brevet de longue vie. Le rôle de l'initiateur se borne naturellement à fournir aux initiés, après l'exposé des principes, les grandes lois et quelques-unes de leurs applications prises parmi celles qui présentent un caractère de stabilité ou d'originalité particulièrement marqué.

Ce rôle, M. Berner le tient avec une précision parfaite dans son petit volume.

Et si ce n'était pas un peu prétentieux que de vouloir faire

une citation latine à propos d'une branche de la science sur le compte de laquelle la langue de Cicéron ne nous a laissé qu'un seul mot, celui d'Electrum, je donnerais volontiers comme épigraphe à l'Initiation de l'horloger à l'électricité cette phrase lapidaire par laquelle l'Ecriture Sainte caractérise les personnages qui ont fait beaucoup en peu de temps :

Consummatus in brevi explevit multa. — Ce que je traduirais pour la circonstance :

Beaucoup en peu de pages !

Léopold REVERCHON.

Paris, Mai 1910.

SOCIÉTÉ ANONYME DES
Établissements L. HATOT

Au Capital de 3.675.000 francs

Siège Social : 23, Rue de la Miehodière, PARIS

Téléphone : GUT. 15-64

**Fabrique d'Horlogerie et de Mécanique de Précision
 à BESANÇON (Tél. 5-08)**

Laboratoire d'Études

FABRICATION EN GRANDE SÉRIE de tous appareils d'horlogerie et de petite mécanique.

APPAREILS ÉLECTRIQUES pour la mesure du temps (pendules électro-magnétiques indépendantes **ATO** pour l'usage domestique. Régulateurs de très haute précision à pendules libres. Horloges-mères et récepteurs horaires).

ÉTUDES D'INSTRUMENTS SPÉCIAUX pour observatoires, laboratoires scientifiques, contrôle industriel.

— Exigez —

PILE SÈCHE HELLESENS

Les meilleures du monde entier. Elles sont employées dans tous les pays civilisés.

Types spéciaux pour Horloges
— et Appareils médicaux —

La pile "HELLESENS" est le produit de recherches scientifiques irréprochables et d'une pratique de fabrication de plus de 40 ans.

Un essai vous convaincra

Représentation exclusive pour la Suisse :

SÉRIA
S. A. - GENÈVE

Bureau : BERNE, Optingenstrasse, 53

PRÉFACE DE M. CHARLES PONCET

Directeur de l'Ecole Nationale d'Horlogerie, de Petite Mécanique
et d'Electricité
de CLUSES (Haute-Savoie)

Il y a une trentaine d'années, alors que j'étais jeune Chef d'atelier à l'Ecole Nationale d'Horlogerie de Cluses, je disais, à qui voulait m'entendre, que l'horlogerie électrique supplanterait un jour l'horlogerie mécanique. Cette opinion était généralement accueillie avec scepticisme et je revois encore le sourire indulgent, quand il n'était pas moqueur, qui se dessinait sur le visage de mes interlocuteurs.

Certes, l'évolution que j'annonçais est loin d'être complète aujourd'hui. Mais on ne peut nier qu'elle a pris corps si on en juge par le nombre déjà respectable de pendules que l'on trouve sur le marché.

Après la découverte de la pendule à balancier moteur de Froment, pour ne citer que celle-là, qui date du milieu du XIX^e siècle, on peut se demander les raisons de la longue stagnation qu'a subie l'application de l'électricité aux appareils mesurateurs du temps. Ces raisons sont multiples. En premier lieu, il me semble avéré que beaucoup de ceux qui se sont occupés de cette partie étaient peut-être suffisamment électriciens, mais par trop incompétents en horlogerie, ou réciproquement. L'imperfection des sources d'électricité qui existaient alors y était aussi pour quelque chose. Mais la raison principale résidait dans la prévention que professait le monde horloger contre une science qui lui était totalement étrangère.

Cette prévention a-t-elle totalement disparu ? Non. Elle ne disparaîtra qu'au fur et à mesure que l'on inculquera aux jeunes générations d'horlogers les principes fondamentaux de l'électricité et qu'on les familiarisera avec les applications de cette science à l'horlogerie. Pour ce faire, il faut mettre entre leurs mains des ouvrages dépourvus de prétention, dont la rédaction soit simple et claire.

Le livre de M. A. Berner, L'initiation de l'horloger à l'Électricité, qui en est à sa deuxième édition, remplit ces conditions. Comme l'a fort bien exprimé l'érudit M. Reverchon, « il contient beaucoup en peu de pages ». Aussi bien nous faisons-nous un devoir de le recommander à tous les horlogers soucieux de se moderniser.

INTRODUCTION

L'horloger praticien paraît avoir toujours manifesté une certaine indifférence à l'égard des horloges électriques. Habitué à traiter des appareils purement mécaniques, il a hésité naturellement à pénétrer dans un monde nouveau pour lui. Cette indifférence à peut-être aussi d'autres raisons. Les premières applications de l'électricité aux mécanismes d'horlogerie ne furent pas heureuses. Imperfections du mécanisme, imperfections de la pile, tout contribua à discréditer les inventeurs et leurs inventions. En cela rien d'anormal, si l'on veut bien se souvenir que d'autres inventions plus géniales eurent le même sort.

Mais ces débuts sont lointains, les temps ont marché et... les horloges électriques aussi.

Des années de labeur ont perfectionné la pile et donné la vie à quelques systèmes qui laissent bien en arrière tout ce qu'on pouvait espérer d'appareils purement mécaniques.

Alors qu'une horloge à poids ou à ressort nécessite généralement un remontage hebdomadaire, l'horloge électrique peut fonctionner parfaitement deux et même, dans certaines conditions... trois ans sans remontage ni entretien quelconque.

Autre chose, l'horloger à lui seul, sans le secours de l'électricité, aurait-il jamais réalisé ce problème de faire fonctionner dans tous les points d'une ville des centaines d'horloges obéissant docilement à une seule et séparées de celle-ci par des distances souvent considérables ?

N'oublions pas que ces horloges sont soumises à toutes les intempéries : la pluie, la neige, le vent, la poussière, le chaud et le froid, et aussi quelquefois les toiles d'araignées,

autant d'attaques dont une seule suffirait pour arrêter ou dérégler un mécanisme habituel d'horlogerie.

Ceci n'est pas tout. Grâce à l'électricité, il existe actuellement une foule d'appareils que des industries et des goûts nouveaux exigent : appareils de contrôle et de mesure, compteurs, enregistreurs, distributeurs, et toute une pléiade de mécanismes à déclanchements automatiques dont le corps pour la plupart est un mécanisme d'horlogerie et l'âme un électro-aimant ou quelque autre dispositif électrique.

Cette catégorie d'appareils, dont la consommation et la variété augmentent chaque année, intéresse l'horloger, qui devrait avoir toute compétence, si ce n'est pour les fabriquer, du moins pour les réparer.

Il faut regretter malheureusement que l'horloger ne fabrique ni ne répare horloges et appareils électriques dans la mesure de ce qu'on pouvait attendre de son ingéniosité et de son habileté manuelle.

Beaucoup d'horlogers estiment encore, par indifférence ou ignorance, que les horloges électriques sont très imparfaites et qu'elles ne sont pas de son domaine, qu'elles exigent des connaissances spéciales qui rentrent dans les compétences de l'électricien.

Nous croyons pour notre part qu'il est beaucoup plus facile à un horloger de devenir un peu électricien qu'à un électricien de devenir un peu horloger.

C'est exact que, lorsqu'un horloger, saisi d'un bon mouvement, ouvre un traité d'électricité, il y trouve un vocabulaire peu engageant : *voltage, ampérage, différence de potentiel, extra-courant, polarisation, induction, etc...* Bref, l'électricité, ses lois, ses applications lui paraissent un mets fort indigeste !

Qu'il se détrompe. L'étude de l'électricité, au moins celle qui lui suffit, n'est pas ardue, elle est bien au contraire pleine d'attrait, car point n'est besoin en général qu'il aborde de longues et savantes études.

Qu'il se familiarise simplement avec la pile et les instruments de mesure des courants, qu'il s'initie aux phé-

nomènes de l'aimantation et de l'induction, aux applications typiques de ces phénomènes dans les mécanismes d'horlogerie, et surtout qu'il sache que, si l'électricité est un agent merveilleux qui permet de réaliser de véritables tours de force dont la mécanique est incapable, cela ne veut pas signifier que l'horloge électrique soit la perfection, l'horloge idéale ; il y a la pile qui est toujours un objet encombrant et un peu capricieux, il y a l'étincelle électrique qui oxyde les contacts...

Mais, ayant fait connaissance avec son sujet, ceci ne l'empêchera pas de penser que l'horloge électrique est pourtant l'horloge de l'avenir et que l'horloger, en devenant un peu électricien, élargit considérablement son horizon et pénètre dans un monde fécond en applications nouvelles où il a beaucoup pour réussir.

Le but de ce petit ouvrage n'est pas autre chose que de chercher à réaliser ce programme en évitant le plus possible les formules et les considérations théoriques.

Le lecteur désireux d'approfondir telle question qu'il jugera insuffisamment développée (on voudra bien se souvenir qu'il ne s'agit ici que d'une initiation) trouvera sans doute de quoi se documenter dans d'autres ouvrages moins élémentaires, parmi lesquels nous nous plaisons à leur recommander tout particulièrement *L'électricité et ses applications à la chronométrie*, par A. Favarger, ingénieur à Neuchâtel, et *Horloges-mères et installations horaires*, de M. Ch. Poncet, directeur de l'École Nationale d'horlogerie de Cluses.

La littérature horlogère, pourtant si abondante, est relativement parcimonieuse sur le sujet « électricité » ; aussi nous reste-t-il à souhaiter qu'à côté des rares ouvrages traitant de la question, ce modeste travail soit utile à quelques-uns et surtout contribue à guider l'esprit inventif de l'horloger dans des voies nouvelles.

L'AUTEUR.

Fabrique d'Appareils Électriques

FAVARGER & C°

S. A.

NEUCHATEL (Suisse)

Compteurs électro-chronométriques.

Réseaux de distribution électrique de l'heure.

Horloges-mères électriques et à poids.

Horloges-mères de précision pour laboratoires et ateliers de réglageurs.

Chronographes pour l'enregistrement des signaux horaires par T. S. F.

Appareils récepteurs de T. S. F., brevets MARCONI.

Appareils amplificateurs pour l'observation acoustique des battements des montres.

Étuves et glacières pour ateliers de réglageurs.

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS THÉORIQUES

CHAPITRE PREMIER

Qu'est-ce que l'électricité ?

Voilà bien, n'est-ce pas, la première question qu'on peut se poser quand on aborde un tel sujet. Nous sortirions cependant du cadre que nous nous sommes fixé si nous avions la prétention d'exposer, même sommairement, une théorie sur la nature intime du courant électrique. Qu'il nous suffise d'admettre que l'électricité est une forme de l'énergie, une de celles qu'on produit, qu'on endigue, qu'on transporte et qu'on transforme le plus facilement. Si notre ignorance reste à peu près complète sur la véritable nature, sur l'essence même de cette forme d'énergie, afin d'échapper à la fâcheuse indécision qui pourrait en résulter, nous comparerons l'électricité à un fluide, à de l'eau qui passe dans un tuyau, par exemple : l'idée n'est pas nouvelle, ni très scientifique, mais l'image rachète ces défauts parce qu'elle est excellente pour la compréhension.

Rien n'est plus simple, après avoir compris, que de s'affranchir de cette fausse image et d'envisager alors l'électricité sous un aspect moins grossier.

Avant, toutefois, d'entrer dans le détail de la question, voyons d'un peu haut ce qu'a fait l'électricité.

Voici dans la montagne un torrent puissant qui s'écoule avec fracas des hauts sommets.

Ce torrent est une *Force* que la fée électrique va transporter des vallées sauvages dans la plaine, pour le besoin des villes populeuses. L'ingénieur installe turbines et dynamos. Le torrent sauvage se soumet. Il est endigué ; le voilà qui s'engouffre dans des canaux, forme une trombe écumante, irrésistible, qui tombe sur les aubes de la turbine.

La machine dynamo-électrique actionnée par elle transforme l'*Energie mécanique* de la turbine en *Energie électrique* : elle engendre le *courant électrique*.

Dans la vallée s'allonge alors à 20, 30, 50 kilomètres et davantage, toute une plantation de poteaux qui soutiennent les câbles conducteurs du courant que va récolter et transformer la prochaine usine.

Sans beaucoup de pertes, malgré sa transformation et son long trajet, cette nouvelle forme de l'*Energie*, savamment distribuée, pénètre dans la ville, y révolutionnant, dans l'espace d'un demi-siècle à peine, les industries, les arts et la science. Elle répand dans la rue, sur les places et dans les édifices publics, la lumière éblouissante des lampes à arc comparable à la lumière du soleil, puis, le filament incandescent trouvé, elle éclaire l'habitation privée, eclipsant les lampes rivales et supprimant l'allumette incommode.

En chimie, elle permet la reproduction fidèle de l'œuvre du sculpteur par la réalisation de dépôts métalliques or, argent, cuivre, nickel, sur l'objet à reproduire ; elle résout le problème de la dorure, l'argenture, qui donne à l'art de la décoration une direction nouvelle, au « mouvement » de la montre en particulier le « fini » du dorage ou du nickelage.

De toutes pièces le courant électrique crée des industries nouvelles, tout un monde qu'il est au moins utile d'entrevoir quand ce monde renferme des choses aussi étonnantes que les rayons Röntgen, la téléphotographie et la télégraphie sans fil.

L'électricité prodigue tant de choses magiques que l'esprit blasé n'y prend même plus garde. Nous sommes habitués à tourner un bouton pour obtenir de la lumière et à nous approcher d'un cornet de téléphone pour converser à des centaines de kilomètres ; ces merveilles d'hier sont déjà choses communes d'aujourd'hui.

Constatons l'agent incomparablement précieux qu'est l'électricité si nous voulons bien nous souvenir que, dans

notre exemple, il est fourni par une source de force naturelle, par le torrent qui dégringole là-haut parmi les rochers.

Parmi les formes de l'*Energie* entrevues et dont l'électricité est capable, une seule au point de vue horloger nous intéresse spécialement : c'est la transformation du courant électrique en mouvements mécaniques utiles au fonctionnement d'appareils d'horlogerie.

Entre autres exemples de ces mouvements citons : le mouvement de leviers armant des ressorts, établissant et fermant des circuits électriques, entretenant les impulsions du pendule, provoquant des déclics ; le mouvement rotatif faisant tourner des mobiles, armant un ressort dans son bâillet, etc.

Nous nous occuperons en premier lieu de la pile, la source la plus employée en horlogerie.

La pile et le courant électrique

Une pile (fig. 1) comporte en principe deux lames de matières différentes *A* et *B* (zinc et cuivre, par exemple) baignant partiellement dans un liquide acide (acide sulfurique ou vitriol) contenu dans un vase *C*. Le liquide acide attaque une des lames davantage que l'autre, il se forme dans la pile une *action chimique*, une *combinaison*, un travail intérieur, qui se manifeste à la vue par l'apparition de petites globules de gaz en mouvement dans le liquide.

Nos deux lames *A* et *B* sont capables, dans cet état, du premier phénomène que nous allons constater : le *courant électrique*.

Fixons à chacune des extrémités des lames *A* et *B*, que nous appellerons les *pôles* de la pile, les fils métalliques *a* et *b* et rapprochons dans l'obscurité les deux extrémités du fil. Si, dans notre pile, l'action chimique est assez puissante, nous verrons jaillir une petite lueur : c'est l'*étincelle électrique*.

trique. Pour être éclairé davantage sur le curieux phénomène qui se passe dans notre pile, relions les fils *a* et *b* et faisons-les passer au-dessus d'une boussole de la façon représentée (fig. 2).

L'aiguille aimantée de la boussole qui occupait la position dessinée en traits pleins, se déplace légèrement à l'approche du fil et prend la position pointillée; coupons le fil et l'aiguille reprend sa position première. Intervertissons l'ordre des fils, c'est-à-dire fixons le fil *a* à la lame *B* et le fil *b* à la lame *A* et répétons (fig. 3) la même expérience :

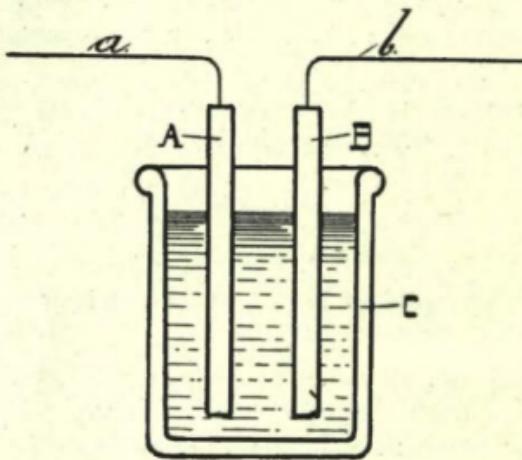


Fig. 1. — *Pile électrique*

nous constatons que l'aiguille aimantée se déplace de la même quantité, mais cette fois-ci en sens contraire. Si donc nous comparons le courant électrique à un courant liquide passant dans un tuyau, les lames *A* et *B* seront les sources, les réservoirs d'électricité, les fils *a* et *b* les tuyaux qui les unissent (appelés fils conducteurs). L'expérience de la boussole nous apprend que le sens de ce courant a changé quand nous avons interverti les fils ; que ce courant ne se dirige donc pas indifféremment de la lame *A* à la lame *B* ou de la lame *B* à la lame *A*, mais bien toujours dans le même sens. Dans lequel ? Ceci, nous n'en savons rien, mais

pour fixer les idées, nous dirons que le courant part de la lame ou du réservoir d'électricité le plus élevé pour aller dans la lame ou le réservoir le plus bas comme s'il s'agissait de deux réservoirs à liquides.

On admet que la lame la moins attaquée par le liquide acide est le réservoir d'électricité le plus élevé ; on l'appelle le pôle positif (+) et l'autre, la plus attaquée, le pôle négatif (-).

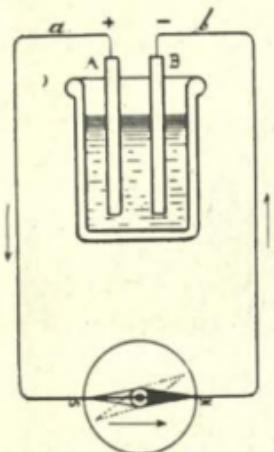


Fig. 2

Supposition : le courant passe de A à B. L'aiguille de la boussole dévie à gauche.

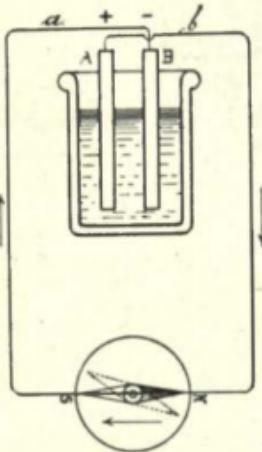


Fig. 3

Intervenons les fils. L'aiguille dévie à droite, le courant a changé de sens. Le courant passe donc encore de A à B.

L'écoulement se produit donc par convention du pôle + au pôle —.

Résumons ces importantes constatations en les rendant plus compréhensibles encore, en comparant directement par le dessin la pile et les réservoirs.

Dans le réservoir (fig. 4), le niveau *A* du liquide représente le niveau électrique de la lame *A* de la pile ; le niveau *B* celui du niveau électrique de la lame *B*. Le liquide circule de *A* en *B* et le courant électrique se dirige de la lame *A* à la lame *B*. On dira des réservoirs qu'ils ne sont pas au

même niveau, que leur différence de niveau est de tant. En causant de la pile, on ne dira pas : la pile a une différence de niveau de tant ; on changera simplement le mot niveau par *potentiel* ; on dira donc : cette pile a une *différence de potentiel* de tant, et voilà, espérons-nous, un mot barbare qui ne l'est plus qu'en apparence.

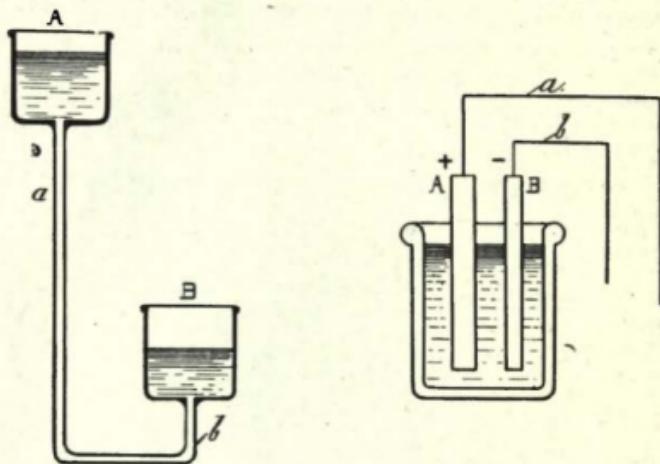


Fig. 4

*A et B réservoirs de liquide.
a et b tuyaux qui les unissent.*

*A et B sources d'électricité,
a et b fils conducteurs qui les
unissent.*

Il est clair que, plus la différence de hauteur des réservoirs *A* et *B* sera grande, plus le courant liquide sera puissant. Par comparaison, plus dans notre pile la *différence de potentiel* sera grande, plus aussi le *courant électrique* sera intense.

Cette différence de potentiel, quand la pile est à *circuit ouvert*, c'est-à-dire quand les fils *a* et *b* sont séparés, est-ce qu'on appelle la *force électromotrice* de la pile.

Cette force électro-motrice est invariable pour un même système de piles, elle ne dépend ni de la forme, ni de la grandeur de celles-ci, mais bien de la composition des lames, du ou des liquides qu'elles contiennent.

La différence de potentiel ou force électromotrice d'une pile prise au début de son activité est différente de celle qu'elle accuse après avoir fonctionné un certain temps. Nous avons déjà dit quelques mots du travail chimique qui s'opère dans la pile et des bulles qui se forment dans le liquide acide. Quand la pile débite du courant, le travail chimique a pour effet de recouvrir peu à peu une des lames de quantité de petites bulles gazeuses, qui forment bientôt sur celle-ci une véritable gaîne isolatrice. Cette gaîne contrarie l'action chimique, donc diminue le débit de la pile. Ce phénomène est ce qu'on appelle la *polarisation*.

De nombreux inventeurs se sont ingénierés et ont réussi en partie, non seulement à combattre les effets nuisibles de la polarisation, mais aussi à perfectionner la pile dans toutes ses parties. La pile, composée de zinc et de cuivre immergée dans un liquide acidulé, soit celle que nous avons choisie comme exemple, est du type réalisé pour la première fois par Volta en 1800.

Aujourd'hui, les variétés de piles ne se comptent plus ; autant d'inventeurs, autant de piles nouvelles, dont la plupart diffèrent par des formes ou des dispositions particulières plus ou moins avantageuses des matières actives et de celles destinées à combattre la polarisation. Comme nous l'avons déjà dit, c'est de la nature des matières en présence que dépendent la force électromotrice et les qualités générales d'une pile.

Ce que nous savons jusqu'ici du courant électrique est encore trop vague pour nous permettre de traiter plus en détail cette question capitale de la pile, d'en dire du bien et du mal, de comparer les systèmes, en un mot de la juger à notre point de vue horloger.

Nous ne pourrons le faire qu'après avoir examiné de quelle façon on mesure le courant électrique.

La mesure des courants

Mesurer, c'est comparer ; qu'il s'agisse de quantités linéaires, de poids, de volumes, de surfaces, nous ne pourrons les évaluer, exprimer leur grandeur qu'en comparant chacune de ces quantités à une autre de même nature, reconnue pratique et prise comme base de comparaison. Cette base de comparaison s'appelle l'*unité*.

Le mètre est l'unité de longueur, le gramme l'unité de poids, le mètre cube l'unité de volume, la seconde pourra être choisie comme unité de temps, etc...

En électricité, mesurer un courant sera donc le comparer à un autre courant, *celui-là bien connu par ses effets* et pris comme unité.

Envisageons pour le moment de l'eau qui vient d'un réservoir haut placé, s'écoule dans un tuyau et en sort sous la forme d'un jet liquide.

Ce jet est capable de produire un certain travail dont la grandeur dépend :

1^o de la hauteur où se trouve juché le réservoir, c'est-à-dire de la différence des niveaux entre le réservoir et la bouche de sortie du tuyau ;

2^o de la résistance qu'oppose le tuyau au passage du liquide par suite du frottement ;

3^o de la quantité de liquide débitée à la seconde, soit de l'intensité du courant.

Appliquons ces constatations au courant électrique débité par une pile.

Nous aurons par comparaison :

Pour les réservoirs à liquide

1. Différence des niveaux.
2. Résistance des tuyaux au passage du liquide.
3. Intensité du courant liquide (quantité de liquide débitée à la seconde).

Pour la pile

1. Force électromotrice.
2. Résistance des fils conducteurs.
3. Intensité du courant électrique (quantité d'électricité débitée à la seconde).

S'agissant du réservoir à liquide, la différence des niveaux sera exprimée par l'unité de longueur, le mètre, la résistance du tuyau en grammes et le débit en litres ; il sera, par exemple, de 100 litres à la seconde.

Chacune de ces grandeurs dont dépend l'effet du courant, est donc exprimée par une unité spéciale, unité avec laquelle nous sommes très familiarisés. Quand nous pensons mentalement 2, 3, 4, 5 litres à la seconde, nous pouvons fort bien par la pensée seulement nous représenter approximativement la valeur d'un tel débit ; il en est de même pour le gramme, le mètre, etc.

En électricité, il en est tout autrement et à moins que vous soyez un électricien « rompu dans la branche » les trois unités choisies qui ont pour nom le *volt*, l'*ampère* et l'*ohm* ne trouveront pas dans votre esprit un sens bien défini, précisément parce que le courant électrique échappe à l'examen direct de nos sens.

Pour constater le courant et combien davantage pour le mesurer, il nous faut l'aide d'appareils scientifiques. Essayons pourtant de donner un corps à ces trois unités et examinons-les successivement.

Force électromotrice

La pile est une source d'électricité très répandue et où la force électromotrice des différents systèmes ne varie pas beaucoup ; on a choisi parmi elles l'unité de force électromotrice. Cette unité s'appelle le *volt* et représente approximativement la force électromotrice de la pile *Daniell*.

La pile Daniell a donc par définition une force électromotrice de 1 volt ; d'autres piles, la *Leclanché* par exemple, accuse 1,5 volt, la *Bunsen* 1,9 volt. D'une façon générale la force électromotrice des piles varie entre 1 et 2 volts.

D'autres sources d'électricité engendrées par la chaleur (piles thermo-électriques) accusent des courants de milliers de volts ; d'autres machines peuvent être construites pour fournir des courants variant de quelques volts à des milliers de volts.

Le mot de volt doit évoquer en nous l'idée de hauteur, de chute, de tension. Deux fils conducteurs d'une machine électrique qui sont, par exemple, à une tension de 1000 volts, correspondent par image à deux réservoirs dont la différence de niveau est de 1000 mètres.

Voici les tensions généralement employées :

Horlogerie	1,5 à	3	volts
Sonneries électriques	4 à	8	"
Téléphone	8 à	12	"
Télégraphe	15 à	20	"
Éclairage	30 à	240	"
Câbles pour transmissions électriques.....	600 à 2000	"	et au-dessus.

Nous avons tous un jour ou l'autre reçu une commotion électrique ; l'effet ressenti est en rapport avec le voltage.

Tenues dans les mains, les extrémités de deux fils à une tension de 1,5 à 3 volts vous laissent sans aucune sensation ; il faut poser les fils sur la langue pour ressentir un léger picotement. Suivant que nos mains sont sèches ou humides, que nos muscles sont plus ou moins recouverts de graisse, le courant électrique nous secouera différemment.

A partir de 400 volts le courant devient dangereux. Le corps humain est plus sensible aux courants alternatifs (qui changent constamment de sens) qu'aux courants continus (toujours de même sens). Un courant alternatif de 120 volts est déjà dangereux.

Résistance des conducteurs

Nous n'avons pas de doute que, par suite du frottement, les tuyaux opposent une résistance au passage du liquide du réservoir et que plus cette résistance sera grande, plus aussi le courant liquide sera affaibli. Nous admettrons aussi sans peine que, plus les tuyaux seront longs et de petits diamètres, plus aussi le frottement et la résistance seront considérables.

Nous pouvons en électricité tenir le même raisonnement et dire que, plus les fils conducteurs du courant seront longs et fins, plus la résistance augmentera et le courant sera affaibli.

Nous voici forcés, à propos de résistance, de constater que notre comparaison de la pile et du réservoir est boiteuse. Tandis que, dans le cas du réservoir, la nature même des tuyaux, qu'ils soient en fer, en laiton ou en cuivre, n'est pas à considérer, dans la pile, au contraire, la nature des fils conducteurs est de haute importance. Selon que nos fils seront en cuivre, argent, fer, ou autre matière, le courant électrique sera conduit plus ou moins facilement d'un pôle à l'autre, ce qui revient à dire qu'il existe des corps *bons* ou *mauvais* conducteurs d'électricité.

La résistance d'un circuit électrique comporte donc non seulement les dimensions, mais aussi la nature des fils conducteurs.

Les métaux conduisent en général très bien l'électricité, le cuivre et l'argent tout particulièrement.

Certains corps tels que le soufre, la gomme laque, la gutta-percha, la soie, le verre, sont très mauvais conducteurs de l'électricité et sont employés dans les machines électriques partout où il s'agit d'isoler des fils ou pièces métalliques d'actions électriques extérieures.

Voici du reste une liste de quelques-uns de ces corps.

Bons conducteurs

Les métaux.	Les végétaux vivants.
La plombagine.	Les animaux vivants.
Les acides.	La flamme.
L'eau.	La fumée.
La neige.	Les terres et pierres humides.

Mauvais conducteurs

Les oxydes métalliques.	Le mica.
Les huiles.	Les gaz et l'air secs.
Le caoutchouc.	Le verre.
La porcelaine.	La cire.
Le cuir.	Le soufre.
Le papier sec.	La gomme-laque.
La soie.	La gutta-percha.

L'unité choisie de résistance est celle qu'oppose au courant électrique une colonne de mercure de 1 mm. carré de section et à peu près 1 mètre de longueur.

Cette unité de résistance s'appelle l'*ohm*.

On trouve dans presque tous les ouvrages traitant d'électricité des tableaux qui donnent directement en ohms la résistance des fils métalliques en usage.

Le cuivre étant un des métaux les plus employés, nous extrayons d'une de ces tables les valeurs ci-dessous qu'on rencontre fréquemment en horlogerie.

Résistance d'un fil de cuivre

Diamètre en millimètres	Résistance par mètre en ohms
0,1	2,215
0,2	0,5538
0,3	0,2472
0,4	0,1384
0,5	0,0886
0,6	0,06154
0,7	0,04525

Diamètre en millimètres	Résistance par mètre en ohms
0,8	0,03463
0,9	0,02735
1,0	0,02215
1,1	0,01831
1,2	0,01539
1,3	0,01311
1,4	0,01131
1,5	0,009845
1,6	0,008653

Un fil de cuivre de 0,4 mm. de diamètre et de 400 mètres de longueur aura donc d'après ce tableau une résistance de
 $0,1384 \text{ ohm} \times 400 \text{ mètres} = 55,36 \text{ ohms.}$

Intensité de courant

Le mot *intensité*, en visant le courant liquide qui circule dans les tuyaux, n'implique pas seulement l'idée de quantité de liquide transporté, mais aussi le temps plus ou moins long employé à ce transport.

L'intensité d'un courant électrique sera par analogie la quantité d'électricité débitée pendant l'unité de temps, la seconde ; cette unité s'appelle l'*ampère*.

On dira d'une source liquide que son débit est de 5, 10, 15, 20... litres à la seconde, et d'une machine électrique qu'elle débite 5, 10, 15, 20 ampères. Nous ne nous imaginons guère ce que peut être une quantité d'électricité, encore moins comment on peut la mesurer ; autrement dit, le mot ampère nous est encore vide de sens.

Les courants électriques se mesurent par leurs effets chimiques.

Chaque horloger sait que le dorage des mouvements de

montres, comme aussi l'argenture, le nickelage, etc., s'obtiennent par l'électricité. Le courant électrique a la remarquable et précieuse propriété de provoquer des dépôts métalliques sur les objets qu'on lui confie, quand on immerge ces objets dans des bains liquides appropriés qui tiennent en dissolution le métal à déposer, or, argent, nickel, etc. Cette propriété de l'électricité, précieuse entre toutes, fait l'objet d'une grande industrie : la galvanoplastie.

Dans un bain, la quantité de métal déposé est plus ou moins grande, s'effectue plus ou moins rapidement, suivant l'intensité du courant.

La valeur de ce dépôt permet de mesurer celle du courant. L'ampère, unité d'intensité choisie, représente l'intensité d'un courant qui dépose 0,0003271 gr. de cuivre à la seconde.

Un courant qui déposerait par exemple 20 gr. en 4 heures (14400 secondes) aurait une intensité de

$$\frac{20}{14400 \times 0,0003271} = 4,24 \text{ ampères.}$$

Il nous reste à faire une constatation au sujet de la vitesse du courant électrique.

Nous concevons que, dans les réservoirs à liquide, plus la différence des niveaux est grande, plus aussi augmentera la vitesse du liquide dans les tuyaux. Ici encore nous sommes obligés de constater que notre image du réservoir et de la pile n'est qu'une comparaison grossière qui nous édifie bien mal sur la vraie nature de l'électricité, puisque, dans une machine électrique, que la différence de potentiel soit de 1 ou de 1000 volts, la vitesse du courant électrique est à peu près invariable, c'est-à-dire représentée par la bagatelle de 300.000 kilomètres à la seconde. Nous voilà loin du courant liquide qui circule sans trop d'empressement dans les tuyaux de notre réservoir. En réalité, comme nous l'avons déjà dit, il s'agit d'un phénomène autrement complexe que la Science explique par des hypothèses.

Loi d'Ohm

Résumons nos connaissances en mesures électriques :

l'unité de *force électromotrice* est le *volt*,

l'unité de *résistance* est l'*ohm*,

l'unité d'*intensité* est l'*ampère*.

Ces trois quantités dépendent l'une de l'autre ; c'est Ohm, le fils d'un serrurier allemand, qui eut la gloire de trouver la relation qui les unit.

Ohm établit par une série d'expériences et avec des instruments qu'il construisit lui-même, que l'intensité d'un courant augmente avec la force électromotrice et diminue avec la résistance. Cette relation, qui régit les courants électriques, s'appelle la loi d'Ohm ; on l'exprime par la formule qu'on rencontre à chaque pas en électricité :

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

dans laquelle I = intensité, E = force électromotrice et R = résistance.

Ainsi une source d'électricité dont la force électromotrice serait 1,6 volt, la résistance 10 ohms, aurait pour intensité

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1,6}{10} = 0,16 \text{ ampère.}$$

Il est facile de voir d'après cette formule ce que devient l'intensité d'un courant quand on fait varier la force électromotrice et la résistance.

Si E devient 2, 3, 4 fois plus grand, I devient également 2, 3, 4 fois plus considérable. Si c'est la résistance R qu'on augmente, qu'on double par exemple, l'intensité I diminue de moitié.

Pratiquement le nombre de volts et d'ampères (en termes de métier : voltage et ampèrage) d'un courant s'évalue au moyen de deux instruments : le *voltmètre* et l'*ampèremètre*, construits sur le même principe.

Les résistances s'évaluent au moyen du *rhéostat* ou *boîte de résistances*. Nous reviendrons sur la description de ces appareils après avoir étudié les phénomènes d'*induction*.

CHAPITRE II

La Pile

Lavoisier a dit que, dans la nature, rien ne se perd, rien ne se crée.

Rien ne se perd : les vingt sous que vous aviez hier et que vous avez dépensés aujourd'hui ne sont pas perdus, ils sont tout simplement dans la poche d'un voisin.

Rien ne se crée : ces vingt sous, vous avez dû les gagner, ou un autre l'aura fait à votre place.

D'un côté les achats, de l'autre des dépenses, mais jamais de pertes, seulement des transformations, voilà comment se passent les choses non seulement dans votre portemonnaie, mais dans la Nature, dans le domaine des Forces naturelles et artificielles, dans la Machine, dans la Pile que nous allons brièvement étudier ici.

Voyons d'abord une machine à vapeur. Nous pouvons distinguer un achat et deux dépenses, dont l'une utile, l'autre inutile.

L'achat, c'est le combustible, l'eau de la chaudière dont il faut constamment l'alimenter.

La dépense inutile, ce sont les frottements à vaincre entre organes mobiles, c'est la chaleur du foyer qui rayonne sans atteindre la chaudière, les efforts nécessaires à la mise en mouvement des organes accessoires et de transmission.

La dépense utile, c'est l'effort que nous utilisons directement sur l'outil, forêt, taraud, burin, fraise, etc., avec lequel nous travaillons.

Voilà pour la machine à vapeur. Pour la pile, l'achat est représenté par les produits chimiques variés, acides, sels, qui, agissant sur les lames positives et négatives, provoquent l'action chimique dont résulte le courant électrique.

La dépense inutile est dans le dégagement de chaleur qui provient de l'action chimique, dans l'usure des produits qui a lieu malgré que la pile ne travaille pas (circuit ouvert) et surtout dans la résistance que le courant doit vaincre pour traverser le liquide qui sépare les lames, résistance qu'on appelle la *résistance intérieure* de la pile, quantité qui varie d'un moment à l'autre pendant le débit du courant.

Telle pile, dont les lames, le liquide et les ingrédients sont neufs, aura par exemple une résistance intérieure de 0,1 ohm ; après quelques heures de fonctionnement elle sera devenue 3, 4, 5 fois plus grande.

La polarisation intervenant, cette résistance augmente considérablement après quelques minutes d'usage seulement. Laissant reposer la pile un instant, les bulles se dissipent lentement, la résistance intérieure diminue, se rapproche de la valeur initiale pour grandir aussitôt qu'on redemande du courant. Cette résistance intérieure varie généralement de quelques millièmes d'ohm à 3, 4 ohms pour dépasser encore ces chiffres au fur et à mesure que la pile vieillit. Malgré les meilleurs systèmes et les meilleurs dépolarisants, il n'existe pas de pile qui échappe à ce phénomène.

Il va sans dire que cette résistance affaiblit le débit extérieur du courant, ce débit qui forme le troisième poste du budget, la dépense utile.

Nous entendons par celle-ci la dépense utilisée pour l'effet voulu, soit lumineux (lampes à incandescence), chimique (galvanoplastie) ou mécanique (attractions, répulsions de l'électroaimant, sonneries, etc.). Cette façon d'envisager une dépense utile, l'autre inutile, nous permet de distinguer dans toute pile active deux circuits, l'un intérieur, composé des lames et du liquide, l'autre extérieur, comprenant les appareils électriques avec les fils conducteurs qui partent des pôles.

Nous connaissons déjà approximativement la résistance du circuit intérieur (résistance intérieure de la pile) ; quelle est celle du circuit extérieur ?

Nous ne pouvons la fixer ; elle est indéterminée puisqu'elle dépend de la longueur, de la section et de la nature des fils qui composent les appareils et conducteurs, quantités que nous ignorons.

Ce qu'il importe de connaître, c'est que de cette grandeur et de la fréquence du travail demandé dépendent la durée et le bon fonctionnement de la pile.

Prenons un exemple pratique.

Soit une pile de force électromotrice $E = 1,6$ volt et de résistance intérieure $r = 0,10$ ohm. Relions les pôles positif et négatif par une résistance extérieure R que nous supposerons nulle ou négligeable. La pile sera, comme on dit, en court circuit et, théoriquement, d'après la loi d'Ohm, l'intensité du courant sera :

$$I = \frac{E}{r} = \frac{1,6}{0,1} = 16 \text{ ampères}$$

Mais, toute cette énergie est absorbée intérieurement en pure perte ; l'action chimique et la polarisation sont intenses et la pile épuisée ou son action arrêtée au bout de très peu de temps.

Si nous faisons travailler sur une résistance extérieure R égale à celle intérieure r , soit de $0,1$ ohm, l'intensité du courant deviendra (en tenant compte que la résistance totale du circuit est maintenant $R + r$)

$$I = \frac{R}{R+r} = \frac{1,6}{0,1+0,1} = 8 \text{ ampères}$$

Il est démontré que c'est dans ces conditions, c'est-à-dire quand la résistance extérieure égale la résistance intérieure de la pile, que l'effet du courant est maximum.

Ce serait pourtant un mauvais calcul que d'utiliser une pile dans ces conditions : l'usure et la polarisation seraient encore trop rapides pour un débit continu ; on pourrait le faire en employant le courant pendant quelques centièmes de seconde seulement, le temps de produire un déclenchement et cela à intervalles assez grands pour permettre à la pile de se dépolariser entre chaque émission de courant.

En pratique, ce cas se présente peu, au moins dans les

horloges électriques, où la résistance extérieure du circuit est de beaucoup supérieure, assez souvent 5 à 10 ohms, ce qui, avec notre pile nous donnerait respectivement des intensités

$$\begin{array}{l} \text{avec } 5 \text{ ohms} \\ I = \frac{1,6}{0,1 + 5} = 0,31 \text{ amp.} \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{avec } 10 \text{ ohms} \\ I = \frac{1,6}{0,1 + 10} = 0,15 \text{ amp.} \end{array}$$

qui sont bien en effet les valeurs employées généralement en horlogerie.

Il faut donc se souvenir que, lorsqu'une pile travaille, elle mange également, et qu'il est très important de lui laisser le temps de manger ; ce qui revient à dire qu'il existe pour chaque genre de piles un *débit normal* bien inférieur au débit maximum possible, mais qui lui assure un meilleur rendement, un courant plus constant et de longue durée.

Cette durée est évidemment limitée, puisque les matériaux le sont et il arrive un instant où, faute d'aliments, le courant diminue puis cesse.

La *capacité* d'une pile est la totalité de courant qu'elle peut débiter. Elle s'exprime en ampères-heures. Ainsi, une pile dont la capacité serait de 90 ampères-heures, est capable de produire un courant de 1 ampère pendant 90 heures.

La capacité d'une bonne pile de grandeur moyenne (contenance 1 $\frac{1}{2}$ litre) varie entre 100 et 150 ampères.

La pile de l'horloger

Les quelques lignes que nous venons de consacrer à la pile nous montre qu'il ne saurait être question en aucun cas de lui demander un travail dont la régularité soit comparable à celle d'une montre par exemple.

Dès lors, dans les applications de l'électricité à l'horlogerie, il faudra éviter le plus possible de mettre l'organe régu-

lateur (balancier ou pendule) sous la dépendance trop directe du courant de la pile.

Les variations de débit pourraient dans ce cas correspondre à des variations de marche.

Si le courant a simplement pour effet de provoquer un déclanchement, armer un ressort moteur dans son barillet, autrement dit : d'agir sur l'organe régulateur par un moteur intermédiaire mécanique, les variations de débit sont alors anodines.

On choisira pour les usages de l'horlogerie la pile qui répondra à ces qualités : constance, — économie, — longue durée, — pas d'usure en circuit ouvert.

Elles sont plusieurs qui postulent cet emploi ; en voici quelques-unes :

<i>Désignation</i>	<i>Composition</i>	<i>Force électromotrice</i>
Daniell	Zinc et cuivre Acide sulfurique Sulfate de cuivre	environ 1 volt.
Meidinger Callaud	Perfectionnement de la Daniell	0,9 à 1,2 volt.
Leclanché	Zinc et charbon Solution de sel ammoniac Dépolarisant : bioxide de manganèse	1,2 à 1,6 volt.

La Daniell est démodée ; on lui préfère la Meidinger ou la Callaud, qui sont parmi toutes les piles les plus constantes. Elles donnent de faibles courants et conviennent aux applications de l'électricité à la chronométrie. Les piles du type Leclanché sont les plus employées en France. Le bon marché de ses ingrédients, sa force électromotrice relativement élevée en font par excellence la pile qui met en branle les sonneries.

La dépolarisation de cette pile s'opère lentement ; elle ne conviendrait donc pas pour un usage continu ou demandé à de très petits intervalles. Comme en horlogerie les émissions de courant sont généralement assez espacées, son dépolarisant a le temps d'agir.

La Fabrique de Piles Leclanché, à Yverdon, qui exploite

les brevets Delafon, construit une pile (fig. 5) dont la matière dépolarisante (oxyde de manganèse) est renfermée dans un sac de toile qui entoure un bâton cylindrique de charbon (pôle +) debout au milieu du bocal.

Le pôle — est constitué par une lame circulaire de zinc de 2 mm. d'épaisseur, offrant par cette disposition une grande surface active. Ces piles, suivant leur grandeur, donnent en court circuit de 10 à 25 ampères.

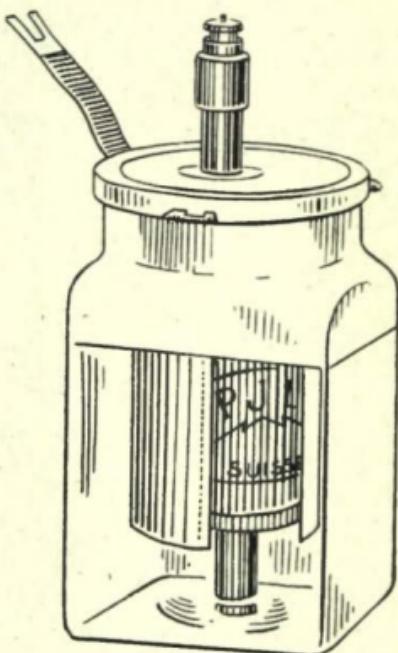


Fig. 5. — Pile à zinc circulaire

Il est préférable d'une façon générale d'employer de grands éléments ; leur résistance intérieure est plus petite et ils sont plus constants que les petites piles.

Ce type de pile a subi un perfectionnement important dû à M. Ch. Féry. La pile Féry (fig. 5 A) comporte un vase de verre contenant une solution de sel ammoniac. Au fond du vase une plaque de zinc z placée horizontalement et au centre de laquelle est soudée une tige de cuivre C isolée

qui traverse le liquide. Un charbon vertical *V* repose sur le zinc par l'intermédiaire d'un isolant *i*. La disposition nouvelle de la plaque de zinc est la caractéristique principale de cette pile dont les fonctions sont les suivantes.

Dès que le circuit est fermé, le phénomène de la polarisation intervient, c'est-à-dire la pellicule d'hydrogène se forme à la partie inférieure du charbon, tandis que la partie supérieure du liquide voisine de l'atmosphère se

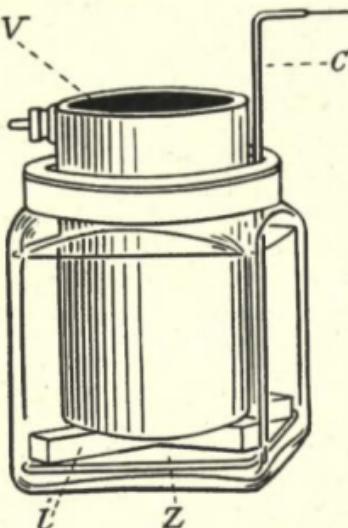


Fig. 5 A. — *Pile Féry*

sature d'oxygène. La présence de ces deux gaz détermine un effet de dépolarisation automatique intense dû à la nature spéciale du charbon. Cette pile présente des avantages importants, en service continu comme en service intermittent ; il n'y a pas de sels grimpants, les sels se déposant dans la partie médiane du vase. La surface du liquide reste propre et la lame de zinc s'use régulièrement, ce qui n'est pas le cas dans la pile précédemment décrite. A circuit ouvert le zinc ne s'use pas et le charbon peut servir indéfiniment. Le rendement d'une telle pile est nettement supérieur à ceux des autres systèmes. La pile Féry est fabriquée par les établissements Gaiffe et Pilon à Paris.

Pile sèche ou pile humide ?

Ce qu'on appelle improprement pile sèche est une pile humide dont on a simplement immobilisé le liquide en vue d'en faciliter le transport et l'usage.

La plupart des piles humides peuvent être transformées en piles sèches ; les produits qu'on emploie pour immobiliser le liquide sont des matières absorbantes telles que le papier buvard, la pâte de papier, la sciure de bois, le coton, le chanvre, les déchets d'éponge, etc., et certaines gélatines préparées spécialement.

La pile sèche a trouvé une application importante : la lampe de poche.

On l'emploie également en horlogerie, où elle remplace avantageusement la pile humide.

La pile sèche est évidemment la pile idéale comme simplicité d'entretien, puisqu'elle n'en demande aucun. Une fois épuisée, elle est mise de côté et remplacée par une autre ; c'est une modeste dépense de quelques francs.

Les variétés de piles sèches sont innombrables et beaucoup d'inventeurs s'ingénient à trouver mieux que ce qui est aujourd'hui. Ils y arriveront probablement, et l'horlogerie électrique, ce jour-là, en fera son plus grand profit.

Voici notamment quelques remarques qui nous sont communiquées par la Fabrique Leclanché : « Dans l'emploi des piles sèches, il y a toutefois 2 points à observer.

1^o Le courant ne devrait pas dépasser 100-150 millampères. On fabrique actuellement des piles sèches qui permettent une charge jusqu'à 300 ou même 400 millampères ; mais, leur composition étant légèrement différente de celle des piles sèches ordinaires, on ne devrait manquer de dire au fournisseur pour quel emploi la pile est destinée.

2^o La tension moyenne au courant de la décharge est de 0,1 à 0,2 volt plus basse pour une pile sèche ordinaire que pour une pile humide. Cela explique pourquoi, dans certaines applications de la pile, un type paraît être bien

meilleur ou offre plus de sécurité. On est, il est vrai, arrivé à remédier à cet inconvénient et, dans un prochain avenir, il ne saurait plus être question de l'emploi des piles humides pour les horloges électriques.

« N'oublions pas non plus de remarquer que le constructeur de l'horloge électrique peut faire beaucoup pour faciliter le choix de la pile et diminuer les frais occasionnés par celle-ci. Nous connaissons, par exemple, une petite pendule électrique qui demande un débit tellement minime qu'elle marche pendant deux ans avec un petit élément de $32 \times 32 \times 90$ mm. Un élément humide, dans un cas pareil, serait un non-sens,

« Nous connaissons aussi une pendule d'origine allemande qui demande, par contre, un courant de 9 ampères et exige une pile beaucoup plus grande que l'autre sans que l'on arrive à garantir une trop grande chute de la tension. »

Couplage des piles

Une pile à elle seule, avons-nous vu, n'est capable de fournir qu'un courant variant de 1 à 2 volts. Il arrivera donc fréquemment de la reconnaître insuffisante pour assurer le bon fonctionnement de nos appareils. Notre première idée, dans ce cas, sera d'avoir recours à deux, trois, quatre, cinq piles, jusqu'à obtenir un courant qui provoquera sonneries, déclanchements ou impulsions avec toute l'énergie et la sûreté désirées.

La façon dont nous allons grouper ces piles va sans doute nous embarrasser davantage.

Examinons le problème comme s'il s'agissait encore de réservoirs à liquide et voyons comment nous pouvons obtenir une action commune de trois réservoirs *A*, *B* et *C*, par exemple en vue d'un effet unique plus puissant ; nous avons deux solutions principales :

- 1^o les disposer les uns au-dessous des autres ;
- 2^o les disposer les uns à côté des autres.

Dans la première disposition (fig. 6), nous concevons que les pressions exercées par chacun des réservoirs *A*, *B* et *C* s'ajoutent, que cette pression totale, dans le tuyau *T*, sera deux, trois, quatre, cinq fois plus grande suivant que nous aurons, deux, trois, quatre, cinq réservoirs disposés

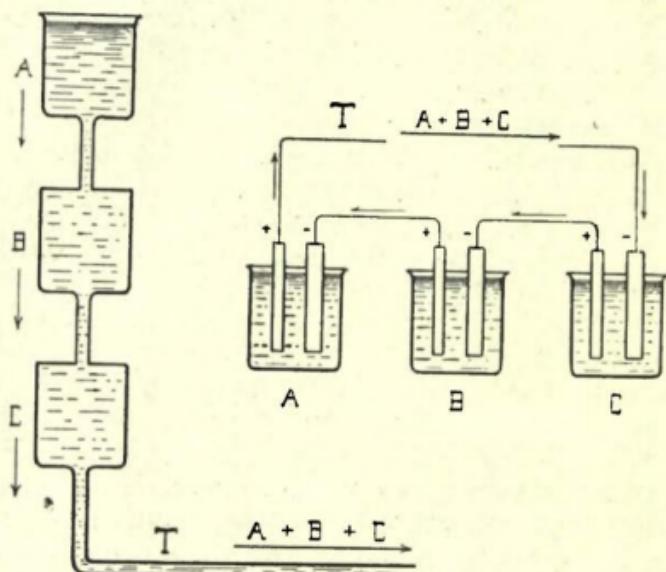


Fig. 6. — Couplage en tension

de cette manière ; la résistance des tuyaux augmente avec le nombre des réservoirs, puisque le liquide de chacun de ceux-ci a à traverser successivement tous les tuyaux qui se trouvent au-dessous de lui ; la résistance totale deviendra donc 3, 4 5... fois plus grande suivant que nous aurons 3, 4, 5... réservoirs.

Analysons cette façon de grouper nos réservoirs : nous avons relié le niveau inférieur du réservoir *A* au niveau supérieur de *B*, puis le niveau inférieur de *B* au niveau supérieur de *C* et ainsi de suite.

Faisons la même opération pour les piles *A*, *B* et *C*, mais électriquement parlé ; c'est-à-dire relions le niveau électrique inférieur pôle négatif (—) de la pile *A* au niveau électrique supérieur pôle positif (+) de *B*, puis pôle — de *B* au pôle + de *C*, etc.

Comparaisons hydrauliques et électriques restent vraies et le courant commun des trois piles passant dans le conducteur *T* aura une force électromotrice trois fois plus grande que celle d'une seule pile. Si nous avions quatre, cinq, six piles assemblées de la sorte, la force électromotrice augmenterait en proportion.

Ici, la résistance des tuyaux de communication devient la *résistance intérieure* de la pile. Cette façon d'assembler ou de coupler des piles s'appelle *couplage en tension* ou *en série*.

Prenons un exemple : voici quatre piles qui ont chacune une force électromotrice de 1,3 volt et une résistance intérieure de 0,3 ohm. Quelles seront la force électromotrice et la résistance intérieure de ces quatre piles couplées en tension ?

$$\text{Force électromotrice } E = 1,3 \text{ volt} \times 4 = 5,2 \text{ volts.}$$

$$\text{Résist. intérieure } r = 0,3 \text{ ohm} \times 4 = 1,2 \text{ ohm.}$$

L'intensité en court-circuit est de

$$I = \frac{E}{r} = \frac{5,2}{1,2} = 4,33 \text{ amp.}$$

Voyons la seconde disposition (fig. 7). Ici, les pressions exercées par chacun des réservoirs *A*, *B* et *C* ne s'ajoutent plus. Que nous ayons deux, trois, quatre ou cinq réservoirs, cette pression dans le tuyau *T* restera la même, c'est-à-dire égale à celle d'un des réservoirs seulement ; mais chaque réservoir effectuant indépendamment des autres une partie du débit total par son tuyau à lui, nous concevons que la quantité de liquide circulant dans le tuyau *T* augmente et que la résistance des tuyaux diminue. Cette résistance sera deux, trois, quatre, cinq fois plus petite, suivant que nous aurons deux, trois, quatre, cinq réservoirs disposés

de la sorte. Cette deuxième combinaison nous fait perdre en pression, mais gagner en quantité.

Nous pouvons exprimer ce mode d'assemblage en disant que nous avons mis les réservoirs *A*, *B* et *C* au même niveau.

En électricité, mettre nos piles *A*, *B*, *C* au même niveau, revient à unir, comme nous l'avons fait, tous les pôles + d'une part, et tous les pôles — de l'autre.

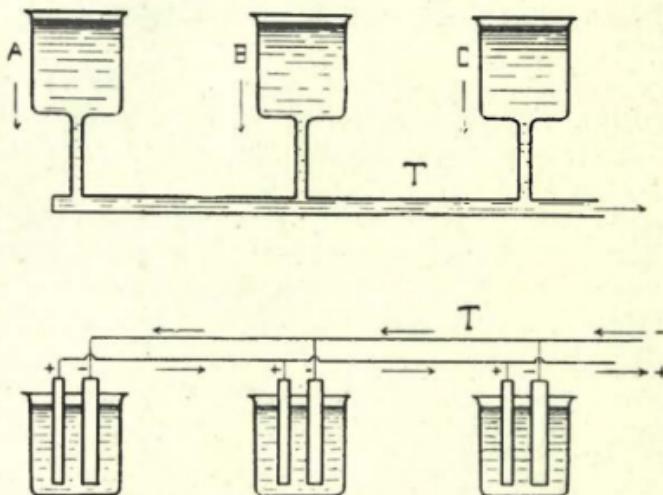


Fig. 7. — *Couplage en quantité*

Le courant qui passera dans le conducteur *T* aura donc une force électromotrice égale à celle d'une pile seule, mais la résistance intérieure sera aussi deux, trois, quatre ou cinq fois plus petite suivant que nous aurons deux, trois, quatre ou cinq piles.

Ce mode d'assemblage s'appelle : *couplage en quantité* ou *parallèle*. Dans l'exemple des quatre piles cité précédemment, la force électromotrice d'un élément était 1,3 volt et la résistance intérieure 0,3 ohm ; le couplage en quantité nous donne :

$$\text{Force électromotrice } E = 1,3 \text{ volt}$$

$$\text{Résist. intérieure } r = \frac{0,3 \text{ ohm}}{4} = 0,075 \text{ ohm}$$

L'intensité en court-circuit est de

$$I = \frac{E}{r} = \frac{1,3}{0,075} = 17,33 \text{ amp.}$$

De ces deux exemples il résulte que :

Dans le couplage en quantité, la résistance intérieure totale de la pile diminue avec le nombre des éléments, le courant débité comporte beaucoup d'ampères et peu de volts, tandis que dans le couplage en tension c'est le contraire qui a lieu, la résistance intérieure totale augmente avec le nombre des éléments groupés et le courant comporte peu d'ampères mais beaucoup de volts.

On peut aussi réaliser des groupements mixtes comprenant à la fois des éléments couplés en tension et en quantité.

Retenant l'exemple de tout à l'heure, nous pouvons assembler nos quatre éléments deux par deux en tension et réunir ces deux groupes en quantité. Nous aurons :

Force électromotrice de chaque groupe =

$$1,3 \text{ volt} \times 2 = 2,6 \text{ volts}$$

Résistance intérieure de chaque groupe =

$$0,3 \text{ ohm} \times 2 = 0,6 \text{ ohm}$$

Chaque groupe peut être considéré comme un seul élément dont la force électromotrice serait de 2,6 volts et la résistance intérieure de 0,6 ohm. Comme nous avons deux groupes, ceux-ci réunis en quantité nous donnent :

Force électromotrice $E = 2,6 \text{ volts}$

$$\text{Résistance intérieure } r = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ ohm}$$

Intensité en court-circuit

$$I = \frac{E}{r} = \frac{2,6}{0,3} = 8,66 \text{ ampères}$$

Que nous choisissons le groupement tension quantité ou mixte, la puissance électrique développée par le courant est toujours la même. Il n'est question en aucun cas de songer à réaliser un gain de puissance en choisissant tel groupement plutôt qu'un autre.

On mesure l'énergie qu'on obtient d'un courant électrique en faisant le produit des volts par les ampères. L'unité de puissance électrique est le *watt*, qui représente le produit de 1 volt par 1 ampère. Si nous faisons ce produit, nous voyons en effet qu'il est le même pour les trois groupements.

<i>Tension.</i>	Puissance	5,2 volts	\times	4,33 amp.	$=$	22,5 watts
<i>Quantité.</i>	"	1,3 "	\times	17,33 "	$=$	22,5 "
<i>Mixte.</i>	"	2,6 "	\times	8,66 "	$=$	22,5 "

Le choix de ces différents groupements dépend du nombre de volts et d'ampères exprimant la valeur du courant total exigé par l'installation. Cette valeur à son tour dépend surtout de la façon dont sont groupés les appareils.

Groupement des appareils

Examinons de quelle façon nous pouvons par exemple grouper 6 horloges à résistance de 100 ohms par pièce et exigeant chacune pour leur fonctionnement un courant de 0,10 ampère.

Nous calculerons en même temps les différences de potentiel et l'intensité de courant nécessaires pour chaque groupement.

Dans les calculs qui suivent nous supposons négligeable la résistance des fils conducteurs qui unissent les horloges.

1^o Montage en tension ou série :

Dans ce mode de groupement (fig. 8) les horloges sont disposées les unes à la suite des autres ; le courant les tra-

Fig: 8

*Montage en série*

verse toutes successivement et il est évident que les résistances s'ajoutent. La résistance totale R est donc de

$$100 \times 6 = 600 \text{ ohms}$$

La différence de potentiel U nécessaire pour faire passer un courant de 0,10 ampère dans une résistance de 600 ohms est donnée par la loi d'ohm

$$I = \frac{E}{R} \text{ ou : } I = \frac{U}{R} \text{ de laquelle on tire}$$

$$U = RI = 600 \times 0,10 = 60 \text{ volts}$$

La puissance électrique exigée par nos 6 horloges est donc de $60 \text{ volts} \times 0,10 \text{ amp.} = 6 \text{ watts.}$

Le montage en série a un inconvénient. Si, pour une cause quelconque, le courant est interrompu en un des points du circuit, toutes les horloges en sont affectées.

2^o Montage en dérivation :

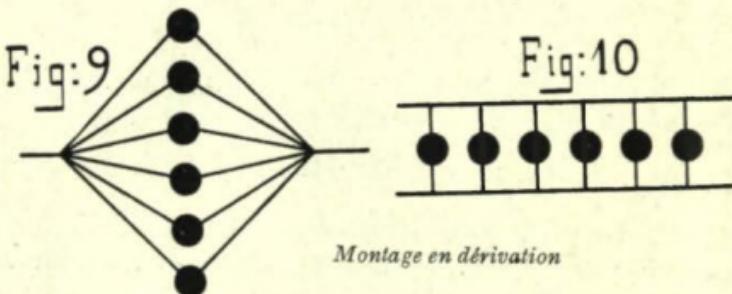
Ici les 6 horloges sont branchées entre les fils conducteurs de la façon représentée (fig. 9 et 10) par deux dispositions qui ne diffèrent entre elles que par la forme. Le résultat est le même dans les deux exemples ; le courant se divise en 6 tronçons ou, comme on dit plutôt, en 6 dérivations et chaque horloge a son conducteur propre.

La résistance de l'ensemble se trouve de ce fait considérablement diminuée, elle est égale à celle d'une des hor-

loges, divisée par le nombre des horloges¹⁾, soit donc de

$$\frac{100}{6} = 16,60 \text{ ohms}$$

L'intensité totale du courant demandé à la pile est égale à la somme des intensités exigées par chaque horloge, soit de $0,10 \times 6 = 0,60$ amp.



La différence de potentiel U nécessaire pour faire passer 0,60 amp. dans une résistance de 16,60 ohms est donnée comme précédemment par la formule

$$U = RI = 16,60 \times 0,60 = 10 \text{ volts}$$

La puissance électrique dépensée est donc de

$$10 \text{ volts} \times 0,6 \text{ amp.} = 6 \text{ watts.}$$

c'est-à-dire la même que pour le montage précédent. Ces deux genres de montage diffèrent entre eux en ce sens que,

1. Ceci n'est vrai que lorsque les dérivations ont toutes la même résistance, comme c'est le cas pour nos six horloges. Si nous avions par exemple deux dérivations de résistances inégales r et r' , on calculerait la résistance totale R par la formule

$$R = \frac{rr'}{r+r'}$$

Dans le cas de trois résistances inégales $r r' r''$ on aurait

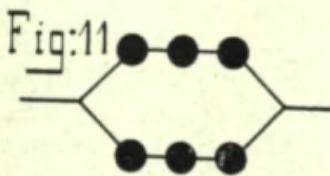
$$\bar{R} = \frac{rr'r''}{rr'+rr''+r'r''}$$

Nous ne citons ces formules que pour signaler le cas ; en pratique, comme nous allons le voir, on aura presque toujours à faire à des résistances égales ou à peu près.

dans le montage en série, la résistance totale augmente avec le nombre des appareils, tandis que c'est l'inverse qui a lieu pour le montage en dérivation ; plus les dérivations sont nombreuses, plus aussi diminue la résistance de l'ensemble.

Pour les mêmes appareils l'installation en série exigera donc une grande différence de potentiel, c'est-à-dire un grand nombre d'éléments groupés en série, en revanche le débit sera très petit. Le montage en dérivation exigera une faible différence de potentiel, donc moins d'éléments, mais alors un fort débit. On emploiera en tout cas de grands éléments, quitte à opérer un groupement mixte si le débit dépasse celui, normal, d'un élément. Dans les installations d'horloges, les éléments sont généralement groupés en tension et les horloges en dérivation. La résistance de chaque horloge varie entre 80 et 150 ohms. Dans les deux exemples traités nous avons négligé la résistance des fils de ligne pour plus de simplicité. En pratique, cette quantité n'est pas négligeable et elle s'ajoute à celle des appareils.

On la détermine en mesurant la longueur du fil en mètres qu'on multiplie par la résistance correspondant à la section choisie. (Voir tableau de la page 14.)



Groupement mixte

De même que nous l'avons fait pour les éléments de pile, on pourrait aussi grouper les horloges à la fois en série et en dérivation, soit réaliser un *groupement mixte* comme celui de la fig. 11 qui comprend deux dérivations de 3 horloges groupées en tension.

La résistance de chaque dérivation est égale à

$$100 \times 3 = 300 \text{ ohms}$$

et la résistance totale

$$R = \frac{300}{2} = 150 \text{ ohms}$$

L'intensité totale est égale à la somme des intensités de chacune des dérivations, soit de

$$0,10 \times 2 = 0,20 \text{ amp.}, \text{ donc } U = 150 \times 0,20 = 30 \text{ volts}$$

Le nombre de watts dépensés est toujours de

$$30 \text{ volts} \times 0,20 \text{ amp.} = 6 \text{ watts.}$$

Dans une installation en dérivation, la présence du fil de ligne a pour conséquence une répartition inégale du débit de la pile dans les différentes horloges. Si, en effet, dans la fig. 10 nous suivons le chemin que parcourt le courant pour arriver à chaque horloge et retourner ensuite à la pile, nous voyons que le chemin qu'il parcourt, donc la résistance qu'il éprouve, est plus grand pour la dernière horloge que pour la première, la deuxième, la troisième, etc. ... Ces différences de résistance correspondent à des différences de débit qui peuvent être préjudiciables à la bonne marche de l'installation. Dans certains cas, on remédie à cet inconvénient en dotant les horloges les plus rapprochées de la pile de *résistances additionnelles compensatrices*, mais le plus simple est d'employer un fil de ligne d'assez grand diamètre et des horloges d'assez grande résistance pour que les différences de résistances dues au fil de ligne soient négligeables par rapport à celle de l'horloge.

Dans les installations établies en dérivation, la rupture du fil d'une des horloges n'entraîne pas l'arrêt de toutes les autres, comme c'est le cas pour le montage en série. Le groupement en dérivation a encore l'avantage de se mieux prêter à l agrandissement du réseau.

Calcul du nombre d'éléments

Après avoir déterminé le voltage et l'ampérage exigés par l'installation, on calculera le nombre d'éléments nécessaires pour les réaliser.

Étant donné que la pile doit débiter I ampères, il faut tout d'abord calculer la différence de potentiel, que nous désignerons par u , disponible aux bornes d'un élément qui débite ce nombre d'ampères. Cette valeur de u sera toujours inférieure à celle de la force électromotrice E qui est la différence de potentiel de l'élément à circuit ouvert. Nous savons en effet que l'élément lui-même oppose au passage du courant une résistance r que nous avons appelée la résistance intérieure. Si donc l'élément débite I ampères, la pression intérieure nécessaire pour faire passer I ampères dans la résistance r est de Ir . La différence de potentiel utilisable u est donc égale à la force électromotrice moins cette perte de pression, soit : $u = E - Ir$.

Nous voyons par cette formule que plus l'intensité demandée I est grande plus aussi baisse la différence de potentiel utilisable. On voit également qu'il y a intérêt à prendre r le plus petit possible, ce qui s'obtient avec de grands éléments dont nous avons déjà dit que la résistance intérieure était moindre que celle des petits éléments.

La différence de potentiel u d'un élément étant calculée il suffit de diviser la différence de potentiel totale exigée U par u pour avoir le nombre d'éléments.

Reprendons l'exemple de nos six horloges ; groupées en série, elles exigeaient une tension U de 60 volts et une intensité I de 0,10 ampère.

Supposons que nos éléments aient une force électromotrice E de 1,3 volt et une résistance intérieure $r = 0,5$ ohm.

Calculons pour chaque élément la valeur de u correspondant à un débit de 0,10 amp.

$$u = E - Ir = 1,3 - (0,1 \times 0,5) = 1,25 \text{ volt}$$

Comme la différence de potentiel totale doit être de 60 volts, le nombre d'éléments est égal à

$$\frac{U}{u} = \frac{60}{1,25} = 48 \text{ éléments groupés en série.}$$

Calculons le nombre d'éléments pour nos horloges groupées en dérivation ; elles exigeaient 10 volts et 0,60 ampères.

Nous avons pour ces valeurs :

$$u = E - Ir = 1,3 - (0,6 \times 0,5) = 1 \text{ volt.}$$

Nombre d'éléments :

$$\frac{U}{u} = \frac{10}{1} = 10 \text{ éléments groupés en série.}$$

Une installation de 48 éléments serait bien encombrante et coûteuse ; aussi choisirons-nous le groupement en quantité, qui solutionne le même problème avec 10 éléments. En revanche, l'installation demande à la pile un débit six fois plus fort (0,6 amp. au lieu de 0,1 amp.) que celui de l'installation en série. Ce débit n'a pourtant rien d'excessif et, à la condition d'employer de grands éléments, l'installation nous donnera complète satisfaction.

On peut voir, par ces quelques exemples, qu'une installation quelconque pour être établie correctement oblige à des calculs indispensables, peu compliqués il est vrai, mais qui exigent pourtant une connaissance approfondie de la pile et une certaine expérience dans ce genre de travail.

Le rapide exposé que nous avons donné de cette question suffit à montrer l'importance qu'il faut y attacher. Une installation mal calculée, des éléments ou des appareils groupés d'une façon empirique exposent à des déboires, malgré la perfection des appareils pris individuellement.

On se basera toujours pour le choix des différents groupements d'éléments et d'appareils sur le fait qu'il y a intérêt au point de vue de la durée et de la constance à demander un faible débit aux éléments, c'est-à-dire à les faire travailler sur un circuit extérieur de grande résistance.

CHAPITRE III

L'aimantation

Si nous sommes amateurs d'étymologie, consultons un dictionnaire, nous trouverons au mot *aimant* deux origines distinctes : l'une, faisant dériver aimant de « diamant », l'autre du verbe aimer, « pierre qui aime », en raison de l'attraction qu'un aimant exerce sur son entourage métallique. Un naturaliste chinois du VIII^e siècle aurait écrit : « cette pierre fait venir à elle le fer, comme une mère ses petits enfants ». Il serait difficile de décrire cette curieuse propriété de l'aimant d'une façon plus touchante. Nous sommes, de nos jours, moins sentimentaux et appelons du mot de *magnétisme* la cause de ce phénomène resté fort longtemps incompris et mystérieux.

Quelle explication donner, en effet, d'une chose aussi inattendue : une pierre (mineraï de fer) qu'on rencontre à l'état naturel et qui attire sans causes apparentes, plus ou moins vivement, à elle des particules de métaux, fer, acier, fonte, nickel, etc... ?

Les Chinois remarquèrent déjà que l'aimant, rendu libre et mobile, était influencé par la Terre qui l'orientait toujours dans une même direction ; ce fut la découverte de la boussole.

Des siècles s'écoulèrent sans qu'on expliquât ces phénomènes et qu'on se doutât surtout qu'*électricité* et *magnétisme* n'étaient qu'un.

Vous vous souvenez qu'ayant voulu nous rendre compte de ce qui se passait dans les conducteurs venant de la pile, nous avons fait passer le *courant électrique* au-dessus de

l'aiguille aimantée de la boussole et avons constaté une déviation de l'aiguille. Cette modeste expérience, qui fut en son temps la découverte sensationnelle du physicien danois Oersted, apporta la lumière dans les cerveaux d'Arago, d'Ampère et de Faraday.

Étudier l'action du courant électrique sur les aimants et celle des aimants sur les courants, tel fut le nouveau champ d'étude qu'Oersted signalait à l'Europe savante en 1820.

Arago découvre d'abord que, non seulement le courant électrique influence l'aiguille aimantée de la boussole comme l'aurait fait un aimant, mais qu'il peut lui-même devenir aimant et attirer le fer. En effet, un fil conducteur traversé par un courant et plongé dans la limaille de fer en ressort coiffé.

Ampère, enroulant un fil conducteur sur lui-même, remarque qu'il augmente de ce fait l'influence du courant sur l'aimant et trouve le moyen de provoquer *l'aimantation artificielle* de barres métalliques.

Notre pile et son fil conducteur vont faire tous les frais d'un petit appareil qui, malgré sa simplicité, va nous initier à des phénomènes importants.

Enroulons sur un crayon (fig. 12) une partie du fil *a b* partant des pôles *A* et *B* d'un élément. L'enroulement jugé suffisant, retirons le crayon. Nous aurons ainsi obtenu un segment *e d* qui affectera la forme d'un tuyau et le courant électrique, si vous permettez cette image, y circulera de la façon dont on gravit ou descend un escalier tournant. Le courant de la pile partant du pôle + *A* pour se rendre au pôle — *B*, que se passera-t-il à l'intérieur du segment *e d*? Apparemment rien ; mais, si nous y introduisons pour un instant une tige d'acier *C D*, cette tige retirée et présentée vers l'aiguille d'une boussole aura la faculté de la faire dévier. Une des extrémités *attirera* l'aiguille, l'autre la *repoussera*. Notre tige d'acier n'est plus une tige d'acier quelconque ; elle est devenue un *aimant*. Ses deux extrémités, jusqu'ici non baptisées, le sont

maintenant et de mots scientifiques ; l'extrémité *D* est le pôle *Sud*, l'extrémité *C* le pôle *Nord* de l'aimant.

Introduisons une nouvelle tige d'acier *C D* identique à la première, mais changeons le sens du courant électrique dans le segment *c d* : le même phénomène d'aimantation se reproduit ; seulement les pôles ont changé de place : en *D* est un pôle *Nord* et en *C* un pôle *Sud*.

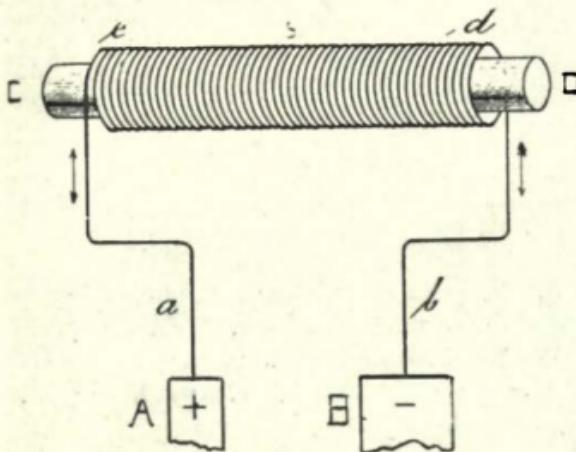


Fig. 12

La formation des pôles dépend donc du sens du courant.

Mais nous voici causant d'aimantation et de pôles, d'attractions et de répulsions sur l'aiguille de la boussole sans avoir une idée de ce qui ce passe dans notre tige d'acier *C D*. Nous sentons bien qu'il doit s'agir d'un fluide, d'un *flux de force* invisible. Une feuille de papier et un peu de limaille de fer vont nous permettre de le deviner.

Posons sur un aimant (fig. 13) une feuille de papier *P* saupoudrée de limaille de fer. Donnons de petits coups secs et répétés sur la feuille afin de faire danser la limaille. Nous la verrons bientôt se grouper d'une façon spéciale autour des pôles *S* et *N*. Nul doute que cette disposition de la limaille trahisse précisément ce fluide.

Les lignes suivant lesquelles se dirige la limaille sont

appelées les *lignes de force*; nous les voyons particulièrement nourries aux pôles *N* et *S* d'où elles rayonnent en forme d'éventail.

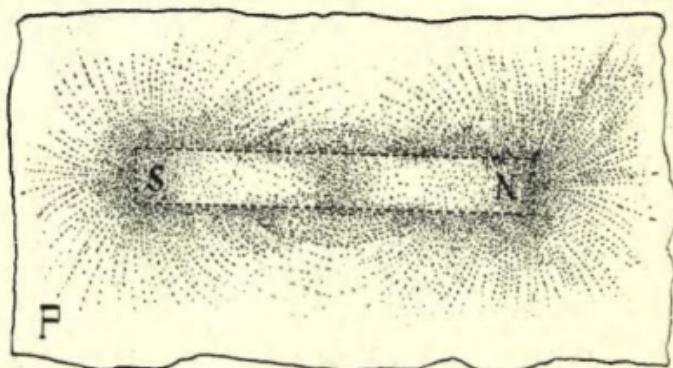


Fig. 13. — *Flux magnétique*

De même que pour le courant électrique, on leur suppose une direction déterminée. On admet (fig. 14) qu'elles partent du pôle Nord *N* dans l'atmosphère pour rentrer par le pôle Sud *S* et pénétrer en un faisceau par le corps même de l'aimant.

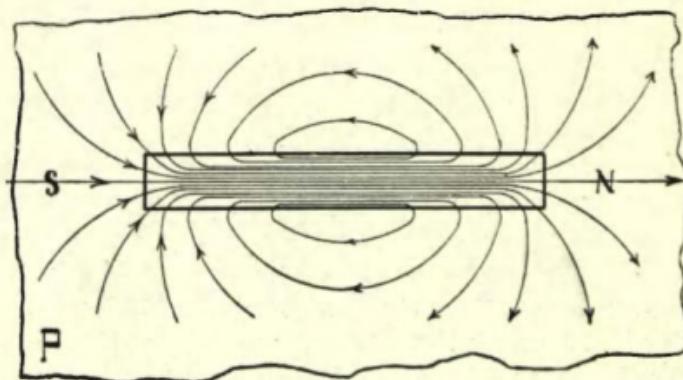


Fig. 14. — *Lignes de force*

Ces *lignes de force* forment autour d'un aimant ce qu'on appelle un *champ magnétique*. Connaissant dans la fig. 12 le sens dans lequel circule le courant dans le segment *e d*,

il est très facile de déterminer le sens des lignes de force. Qu'on se figure dans la main un tire-bouchon présenté dans l'une des ouvertures ; tournons-le dans le sens du courant, le mouvement que prendra le tire-bouchon (avancement ou recul) indiquera la direction du flux magnétique.

Dans l'exemple de la fig. 12, le tire-bouchon présenté du côté *C* tourne suivant le sens du courant, de gauche à droite, c'est-à-dire que le tire-bouchon recule. Le flux a le même mouvement, sort donc de l'extrémité *C* qui est par convention le pôle Nord.

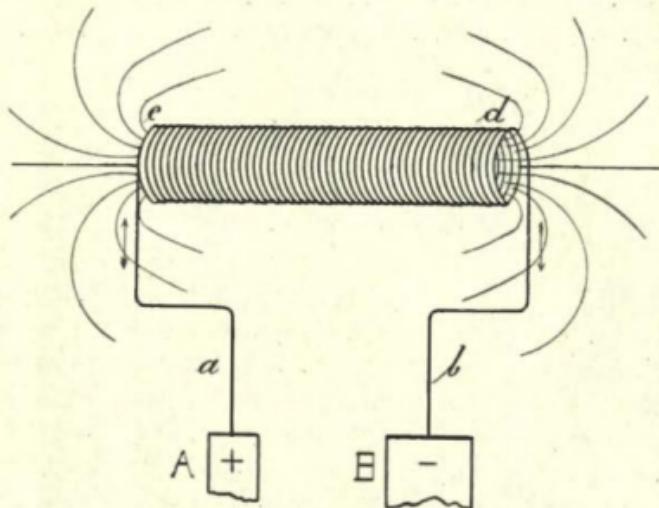


Fig. 15

Nous voilà quelque peu renseignés sur l'état du barreau aimanté ; il nous reste pourtant à examiner ce qui se passe à l'intérieur du segment *e d* au moment du passage du courant.

Si nous pouvions *voir* un flux magnétique comme nous avons pu le faire pour la pièce d'acier grâce à un petit stratagème, nous constaterions qu'il se passe à l'intérieur et autour du segment exactement le même phénomène que dans un aimant ; nous y verrions (fig. 15) le même épau-

nouissement de lignes de force : suivant le sens du courant, l'ouverture *e* présenterait un pôle Nord, l'ouverture *d* un pôle Sud.

Notons que le flux développé est moins intense qu'au moment de l'introduction du barreau d'acier, car l'air est un milieu peu perméable aux lignes de force, tandis que l'acier au contraire facilite considérablement le passage du flux.

Notre fil *e d*, tel qu'il est enroulé, constitue un *solénoïde*. Au lieu d'un seul enroulement de fil, il en pourrait comporter plusieurs isolés les uns des autres, ce qui aurait pour effet d'augmenter l'intensité du flux développé.

Aimants et solénoïdes jouissent à peu près des mêmes propriétés.

Attractions et répulsions

Les lignes de force qui constituent le flux magnétique d'un aimant, sont d'une nature spéciale ; elles tendent à se contracter, à se raccourcir comme le ferait un fil élastique tendu. Cette conception de la nature des lignes de force va nous expliquer ce qui se produit quand nous mettons des aimants en présence. Soit deux aimants *A* et *B* que nous opposons l'un à l'autre, une première fois par leurs pôles *N* et *S*, puis par leurs pôles *N* et *N* (fig. 16 et 17).

Dans le premier cas, les lignes de force de l'aimant *A*, partant du pôle *N*, entrent par le pôle *S* de l'aimant *B* pour ressortir au pôle *N*, se répandre dans l'atmosphère et rentrer par le pôle *S* de l'aimant *A*. Les lignes de force de l'aimant *B* sont la continuation de celles de l'aimant *A*, et, comme elles ont tendance à se raccourcir, il en résulte une attraction des deux aimants *A* et *B*.

Dans le second cas, les aimants *A* et *B* se repoussent au contraire, les lignes de force en se rencontrant, ayant l'effet

bien visible de provoquer une répulsion. Nous concluons que les pôles de même nom se repoussent tandis que les pôles de nom contraire s'attirent.

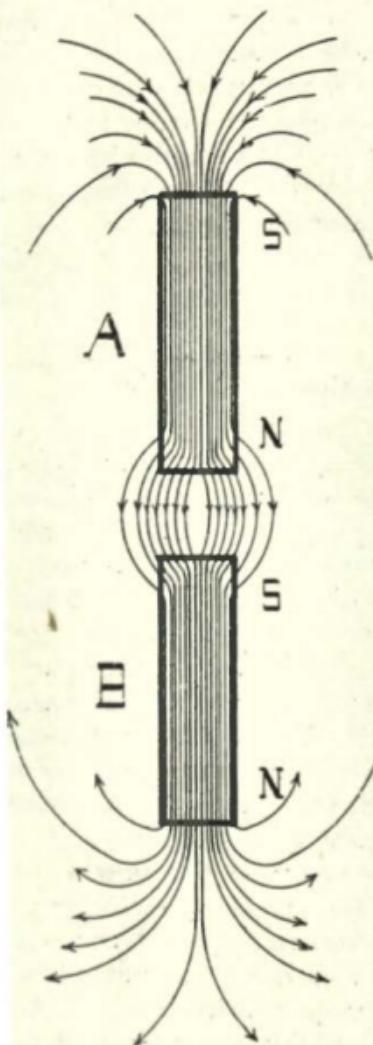


Fig. 16
Les pôles de nom contraire
s'attirent

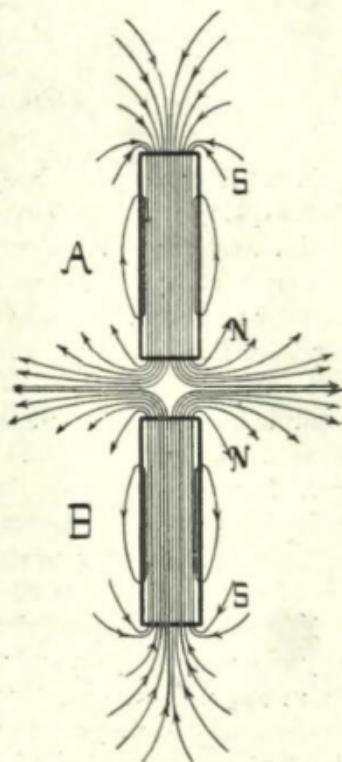


Fig. 17
Les pôles de même nom
se repoussent

Qu'arrivera-t-il si nous mettons en présence non pas deux aimants, mais un aimant et une pièce métallique neutre, sans aimantation ? La pièce s'aimantera par influence. Le flux de l'aimant *A* (fig. 16) passera dans la pièce *B* (supposée neutre) exactement comme dans le cas des deux aimants. Son extrémité la plus voisine du pôle de l'aimant s'aimantera *Sud* si ce pôle est *Nord* et réciproquement ; mais, dans les deux cas, l'effet sera toujours une *attraction*. Une *répulsion* n'est possible qu'entre deux pièces ayant chacune leur aimantation propre.

L'électro-aimant

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de pièces métalliques telles que notre tige d'acier qui conservent leurs propriétés d'aimant, lors même qu'elles ne sont plus soumises à aucune action électrique. Si, dans notre expérience d'aimantation, nous avions remplacé la tige d'acier par une tige de fer, nous aurions constaté cette très curieuse et surtout très précieuse propriété du fer de s'aimanter exactement comme la tige d'acier, mais de ne pas conserver son aimantation. Dès que le courant cesse d'agir, ou que nous éloignons la pièce de fer de l'influence du courant, pôle *N* et pôle *S* disparaissent. Le courant agit-il à nouveau, ne fut-ce que pendant un temps infiniment petit, la tige de fer présente deux pôles pendant cet intervalle de temps.

Dès lors, si nous enroulons du fil métallique isolé sur un noyau de fer et que nous présentions soit un aimant, soit un morceau de fer dans le voisinage de ses extrémités, nous obtiendrons le moyen de provoquer à distance, soit des attractions, soit des répulsions de l'aimant ou du fer dont la durée et la fréquence correspondront à la durée et à la fréquence du courant lancé dans le fil.

Autrement dit, nous avons maintenant la possibilité

de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Nous venons de construire un *électro-aimant*, une petite machine qui est l'âme d'innombrables mécanismes où l'électricité joue un rôle.

Dans la plupart des systèmes d'horloges électriques, l'électro-aimant est le trait d'union entre la pile et le mécanisme moteur ou régulateur. Il est donc de toute nécessité que ce trait d'union soit bien connu pour que ses formes et dimensions répondent au but qu'on lui propose.

Or, beaucoup d'horlogers qui s'occupent d'horloges électriques, ont sur cette question des idées fausses, comme il nous a été donné de le constater par des questions posées dans les revues horlogères et aussi par l'examen de différentes horloges soumises à notre appréciation.

Nous traiterons l'électro-aimant en donnant une seule formule sans nous attarder à de longues considérations théoriques, l'essentiel pour l'horloger étant de bien connaître la forme à lui donner en vue de l'attraction à distance et les facteurs desquels dépend sa puissance.

Formes, dimensions et calcul d'un électro-aimant

Deux formes principales : la forme droite et la forme dite en « fer à cheval » (fig. 18). Les parties métalliques *n* entourées par les *bobines b* de fil sont appelées les *noyaux* de l'électro-aimant. La pièce métallique qui joint deux noyaux est la *culasse c* et on donne le nom d'*armature a* à la pièce mobile influencée par les pôles. L'espace d'air compris entre les pôles et l'armature est l'*entrefer e*.

La forme « fer à cheval » est la plus employée en raison des effets beaucoup plus puissants dont elle est capable.

Il est en effet aisé de constater que, dans l'électro-aimant droit, il y a une grande déperdition des lignes de force,

tandis que dans la seconde forme celles-ci suivent un circuit presque fermé de métal, constitué par la culasse, les deux noyaux, les deux entrefers et l'armature.

Comme le courant électrique, les lignes de force éprouvent plus ou moins de difficulté à traverser certains corps. Il y a des corps très *perméables* aux lignes de force, le fer doux, l'acier, la fonte, par exemple. L'air, la soie, le papier, le coton, le laiton au contraire opposent une grande résis-

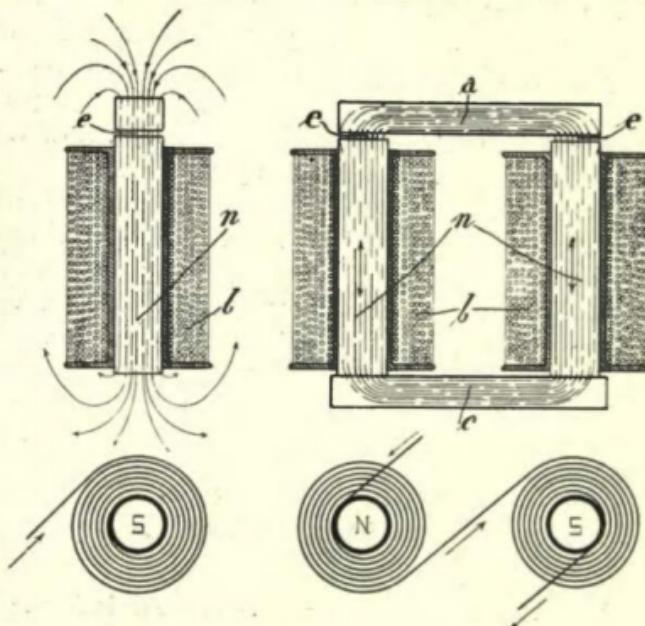


Fig. 18

Forme droite

Forme en « fer à cheval »

tance à leur passage. C'est pour cette raison que dans un électro-aimant on fait l'entrefer aussi petit que possible ; un entrefer de quelques centièmes de millimètre diminue aussitôt considérablement la force attractive. Il ne faudrait pas pour ce motif supprimer complètement l'entrefer, car, alors, le courant ayant passé dans les bobines et l'armature plaquant sur les pôles, elle y resterait collée malgré que le

courant n'agirait plus. Un électro-aimant constitué par un circuit métallique fermé conserve en partie ses lignes de force. Il suffit de décoller l'armature pour qu'elles disparaissent et que l'électro-aimant ne présente plus trace d'aimantation.

L'entrefer s'obtient généralement en laissant ressortir de la quantité voulue une goupille en laiton plantée dans les surfaces actives ou encore en collant une rondelle de papier sur les pôles.

Le fer employé à la confection des électro-aimants doit être aussi doux que possible et d'excellente qualité. Après l'avoir forgé, limé ou tourné, il sera nécessaire de le recuire plusieurs fois.

Le sens de l'enroulement des fils sur les noyaux de l'électro-aimant en « fer à cheval » doit être tel que le flux engendré dans chacun des noyaux soit celui représenté.

En se reportant à la fig. 18, le flux monte dans le noyau de gauche, traverse l'armature *a*, descend dans le noyau de droite et traverse la culasse *c*. Ce résultat est atteint en enroulant le fil de droite à gauche sur le premier noyau (en se souvenant de la règle du tire-bouchon, ce mouvement fait monter un tire-bouchon, donc flux montant dans le noyau) et de gauche à droite dans le deuxième noyau (le tire-bouchon descend, donc flux descendant).

Les différentes spires de fil qui constituent les bobines doivent non seulement être parfaitement isolées entre elles, mais encore n'avoir aucun contact avec les noyaux. Nous verrons tout à l'heure que le flux d'un électro-aimant dépend entre autre du nombre de tours de fil enroulé sur les noyaux et de l'intensité du courant. Le courant électrique, pour produire tout l'effet dont il est capable, devra donc suivre fidèlement tous les méandres que lui impose le fil conducteur sans se permettre aucun raccourci. En électricité, et notamment dans les bobines, les sentiers sont interdits et le courant ne manquera jamais de les prendre si vous lui en fournissez l'occasion.

Les deux formes d'électro-aimants de la fig. 18 sont

classiques, au moins pour ce qui concerne les noyaux et la culasse ; quant à la forme des pôles (extrémités actives des noyaux), elle varie suivant le travail qu'on leur demande et la forme de l'armature mobile. On cherchera toujours à réduire les entrefers et à mettre des surfaces en présence dont les formes favorisent le plus possible un effet utile de toutes les lignes de force en les empêchant de rayonner dans l'atmosphère.

On peut avoir dans l'emploi d'un électro-aimant deux choses en vue :

1^o *la force portante*, qui est le poids qu'il peut supporter, lorsque l'armature colle sur les pôles,

2^o *l'attraction à distance*.

Examinons la force portante. Elle ne dépend que de deux facteurs :

de la *surface des pôles* (exprimée en centimètres carrés), que nous désignerons par *s* pour un des pôles, et

de l'*induction magnétique*, que nous désignerons par la lettre *B* et qui représente le flux magnétique, le nombre de lignes de force circulant dans un noyau par centimètre carré de section. Cette induction *B* s'exprime en unités spéciales ; il nous suffit de savoir que, pratiquement, elle varie de 0 (absence de flux magnétique) à 19.000.

Voici la formule très simple qui donne cette force portante en kilogrammes.

$$P \text{ kilog} = \frac{s \times B^2}{12321360} \quad (1)$$

Cette formule n'est pas applicable à l'électro-aimant droit, car (nous l'avons déjà fait remarquer) il y a dans cette forme grande déperdition de flux dans l'atmosphère.

La forme « fer à cheval » se prête au calcul (quand l'armature est collée sur les pôles seulement), car alors la déperdition du flux peut être considérée comme négligeable.

Contrairement à ce qu'on serait tenté de supposer nous voyons que la longueur des noyaux n'est pour rien dans la valeur de la force portante.

Appliquons la formule (1) à un électro-aimant dont chacun des pôles a une surface s de 1 cm^2 et voyons quelle valeur prendra la force portante en faisant varier l'induction B de 5000 à 19000 par exemple.

Comme nous avons deux pôles en activité, nous aurons en divisant le résultat trouvé par 2 la force portante par pôle, soit par centimètre carré.

TABLEAU I

Induction B	Force portante	Force portante par cm^2
5000	2 kg. 020	1 kg. 010
6000	2 kg. 920	1 kg. 460
7000	3 kg. 970	1 kg. 980
8000	5 kg. 190	2 kg. 590
9000	6 kg. 570	3 kg. 280
10000	8 kg. 110	4 kg. 050
11000	9 kg. 820	4 kg. 910
12000	11 kg. 680	5 kg. 840
13000	13 kg. 710	6 kg. 850
14000	15 kg. 900	7 kg. 950
15000	18 kg. 260	9 kg. 130
16000	20 kg. 770	10 kg. 380
17000	23 kg. 450	11 kg. 720
18000	26 kg. 290	13 kg. 140
19000	29 kg. 300	14 kg. 650

Ainsi, la force portante croît rapidement avec l'induction B , mais celle-ci a des limites, car plus elle augmente, plus aussi le noyau de fer oppose de résistance au flux magnétique, ou, ce qui revient au même, plus la *perméabilité* aux lignes de force *diminue*. Le tableau suivant indique les variations de cette perméabilité pour des valeurs différentes de B .

TABLEAU II

Induction <i>B</i>	PERMÉABILITÉ	
	Fer doux	Fonte grise
5000	2500	500
6000	2459	279
7000	2439	166
8000	2374	100
9000	2250	71
10000	2000	53
11000	1692	37
12000	1412	
13000	1083	
14000	823	
15000	526	
16000	308	
17000	101	
18000	90	
19000	54	

La perméabilité très grande (2500) pour une induction de 5000 descend à 54 pour une induction de 19000. Si l'on continuait à augmenter *B*, il arriverait un moment où la perméabilité descendrait à 1 et le fer doux à partir de ce moment se comporterait comme un corps non perméable, tel que l'air, la soie, le papier... déjà cités et dont la perméabilité est représentée pratiquement par le chiffre 1. Nous voyons aussi que la nature du métal a une énorme importance.

Il s'agit maintenant de déterminer l'intensité *I* du courant en ampères et le nombre *N* de tours de fil à enrouler sur les noyaux en vue de produire l'induction *B* correspondant à la force portante désirée.

Le produit *N I* du nombre de tours *N* par le nombre d'ampères *I* du courant s'appelle les *ampèretours*. Ce produit est susceptible d'une quantité de combinaisons qui produisent toutes le même effet, ainsi :

500 ampèretours peuvent signifier	<table border="0"> <tr><td>5000</td><td>tour</td><td>parcourus</td><td>par</td><td>0,1</td><td>ampère</td><td>= 500</td></tr> <tr><td>2500</td><td>"</td><td>"</td><td>0,2</td><td>"</td><td>= 500</td></tr> <tr><td>1250</td><td>"</td><td>"</td><td>0,4</td><td>"</td><td>= 500</td></tr> <tr><td>500</td><td>"</td><td>"</td><td>1</td><td>"</td><td>= 500</td></tr> <tr><td>250</td><td>"</td><td>"</td><td>2</td><td>"</td><td>= 500</td></tr> </table> <p>etc., etc.</p>	5000	tour	parcourus	par	0,1	ampère	= 500	2500	"	"	0,2	"	= 500	1250	"	"	0,4	"	= 500	500	"	"	1	"	= 500	250	"	"	2	"	= 500
5000	tour	parcourus	par	0,1	ampère	= 500																										
2500	"	"	0,2	"	= 500																											
1250	"	"	0,4	"	= 500																											
500	"	"	1	"	= 500																											
250	"	"	2	"	= 500																											

Nous voyons qu'on ne peut pas juger de la puissance d'un électro par le nombre de tours de fil plus ou moins grand enroulé sur les bobines, mais qu'il faut tenir compte du courant ; une bobine de 150 tours parcourue par un courant de 2 ampères produit le même flux qu'une bobine de 5000 tours parcourue par 0,1 ampère.

Nous savons que le courant électrique échauffe les fils qu'il traverse. Cet échauffement peut être nuisible dans les bobines où la chaleur s'accumule au lieu de rayonner dans l'espace, comme c'est le cas pour un fil nu du téléphone par exemple. Le diamètre du fil sera donc choisi assez grand pour que l'échauffement ne soit pas à craindre. On admet comme limite dans les bobines qui nous intéressent un courant de 3 ampères au maximum par millimètre carré de section.

Il sera facile avec cette base de calculer le diamètre du fil correspondant au courant employé.

La formule donnant les ampèretours capables de produire une induction B est :

$$NI = \frac{B \times l}{1,25 \times p} \quad (2)$$

dans laquelle

ϕ est la perméabilité magnétique qu'on trouvera dans le tableau II en regard de l'induction B , et

l la longueur moyenne du circuit magnétique fermé comprenant donc la longueur des deux noyaux plus deux fois leur écartement. Cette quantité nous est inconnue. On la fixe approximativement. Il suffit alors d'examiner si avec cette valeur de l les ampèretours peuvent être logés sur les noyaux. Connaissant le diamètre du fil et le nombre de

tours, on calculera facilement le diamètre total des bobines. Il se pourra que nos bobines seront trop longues, qu'elles n'auront que quelques couches de fil, ou bien qu'elles seront au contraire beaucoup trop grosses, qu'elles arriveront même à se toucher. On recommencera le calcul avec d'autres valeurs de l jusqu'à ce que nous obtenions des bobines de bonne forme. Généralement, leur diamètre varie entre 2 et 3 fois celui du noyau et le noyau lui-même a très souvent 10 mm. de diamètre.

La puissance d'un électro-aimant augmente il est vrai avec les ampèretours, mais ce serait faire un mauvais calcul que de vouloir les loger sur des bobines dépassant les grandeurs énoncées, car l'effet du courant traversant les spires diminue à mesure que celles-ci s'éloignent du noyau ; l'échauffement est également plus fort dans des bobines très épaisses.

Soit, comme exemple pratique, à calculer la force portante et les dimensions d'un électro-aimant en fer à cheval à noyaux de 10 m/m de diamètre travaillant avec une induction choisie de 13000. Le diamètre du fil nu est de 0,4 m/m, (0,5 avec son enveloppe protectrice) et le courant qui y circulera de 0,1 ampère.

Dans les calculs qui suivent, les formules sont établies pour des longueurs exprimées en centimètres et des surfaces en centimètres carrés.

Calcul de la force portante.

$$\text{Formule (1)} \quad P_{kg} = \frac{2 \times B^2}{12321360}$$

La surface s d'un des pôles est égale à

$$s = \pi r^2 = 3,14 \times 0,5^2 = 0,78 \text{ centimètres carrés}$$

$$\text{donc } P_{kg} = \frac{0,78 \times 13000^2}{12321360} = 10,700 \text{ kg.}$$

La force portante est de 10,700 kg. Chaque pôle supporte

$$\frac{10,700}{2} = 5,350 \text{ kg.}$$

Calcul des ampèretours.

$$\text{Formule (2)} \quad NI = \frac{B \times l}{1,25 \times P}$$

Nous voyons dans le tableau II qu'à une induction de 13000 correspond une valeur de P égale à 1083.

Pour déterminer une valeur approximative de la longueur moyenne l du circuit magnétique (fig. 19) on dessinera, grandeur nature, les deux noyaux avec armature et culasse comme on pense les obtenir en se basant sur des bobines

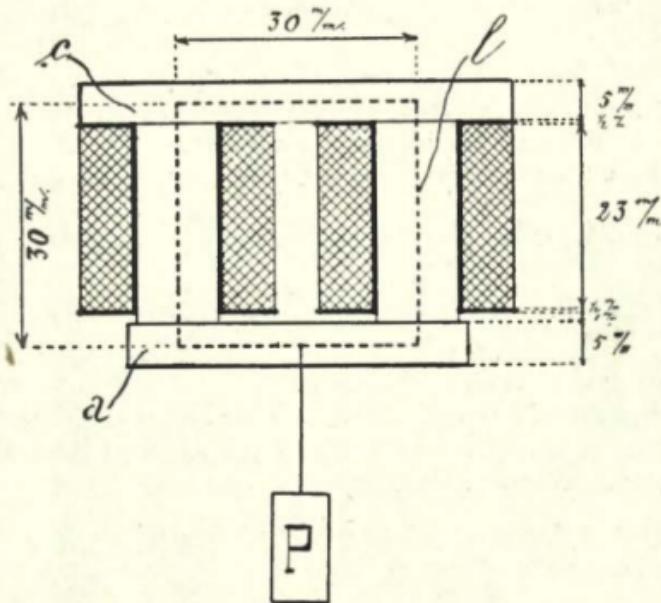


Fig. 19

mesurant au maximum 30 mm. de diamètre (trois fois le noyau). Comme nous avons en vue la force portante, et que celle-ci est indépendante de la longueur des noyaux, nous les ferons aussi courts que possible, juste assez longs pour pouvoir y loger les ampèretours trouvés par le calcul.

On fera par exemple un premier calcul avec $l = 20$ cm.,

puis $l = 15$. Si, faute de place, nous avons intérêt à avoir un électro-aimant le plus « trapu » possible, nous irons jusqu'à $l = 12$ cm. Les différentes dimensions d'un tel électro-aimant sont représentées grandeur naturelle (fig. 20)

Voici les calculs qui les établissent :

$$NI - \frac{B \times l}{1,25 \times p} = \frac{13000 \times 12}{1,25 \times 1083} = 115 \text{ ampéretours}$$

soit 1150 tours avec un courant de 0,1 ampère

$$\text{donc } \frac{1150}{2} = 575 \text{ tours sur chaque noyau.}$$

En laissant ressortir les pôles de 1 m/m et en comptant à 0,5 m/m l'épaisseur des joues des bobines, on trouve que la place disponible pour l'enroulement du fil est de 23 m/m ; le diamètre du fil étant de 0,5 m/m, on a :

$$\text{Nombre de tours par couche de fil } \frac{23}{0,5} = 46$$

$$\text{Nombre de couches de fil } \frac{575 \text{ tours}}{46} = 13$$

Epaisseur de fil sur les bobines $13 \times 0,5 = 6,5$ m/m, auxquels nous ajouterons 0,5 m/m pour l'épaisseur de l'isolant entre le noyau et la première couche de fil (généralement un enroulement de carton). Donc :

$$\text{Epaisseur totale} = 6,5 + 0,5 = 7 \text{ m/m.}$$

$$\text{Diamètre total d'une bobine} 7 + 10 + 7 = 24 \text{ m/m}$$

L'écartement étant choisi à 30 m/m, l'espace entre deux bobines est de 6 m/m.

Calculons la résistance de cet électro-aimant.

La longueur du fil sera égale à la longueur d'une des spires de rayon moyen multipliée par le nombre de spires.

Rayon d'une spire moyenne = rayon du noyau 5 m/m + épaisseur de l'isolant 0,5 + demi-épaisseur de fil 3,5 m/m = 9 m/m.

Longueur d'une spire moyenne = $2 \pi r = 2 \times 3,14 \times 9$
 $= 56,5 \text{ m/m}$

Longueur totale du fil = $56,5 \times 1150 = 65 \text{ m. en arrondissant.}$

Un fil de cuivre de 0,4 de diamètre et de 1 mètre de longueur a une résistance de 0,1384 ohm (tableau page 14), donc :

$$\text{Résistance du fil} = 0,1384 \times 65 = 8,80 \text{ ohm.}$$

La différence de potentiel U nécessaire pour faire circuler un courant de 0,1 ampère dans une résistance de 8,8 ohms est donnée par la loi d'ohm

$$I = \frac{U}{R}, \text{ d'où l'on tire } U = RI = 8,8 \times 0,1 = 0,88 \text{ volt.}$$

On établirait sans plus de difficultés d'autres électroaimants avec des « forces portantes » et des inductions variées.

Il nous reste à examiner l'attraction à distance.

Introduisons entre les pôles et l'armature de notre électro une feuille de papier de 0,05 mm. d'épaisseur et calculons la *résistance magnétique* du circuit *avant* et *après* l'introduction de cette feuille.

La *résistance magnétique* d'un circuit est égale à

$$\frac{l}{s \times p}$$

quantités qui nous sont connues.

$$\text{Résistance du circuit métallique} = \frac{l}{s \times p} = \frac{12}{0,78 \times 1083} = 0,014$$

Calculons celle du papier introduit.

Nous nous souvenons que pour les corps non magnétiques tels que le papier la perméabilité $p = 1$. La longueur l devient égale à deux fois l'épaisseur du papier, soit $0,05 \times 2 = 0,1 \text{ m/m}$ ou $0,01 \text{ cm.}$, donc :

$$\text{Résistance magnétique du papier} = \frac{l}{s} = \frac{0,01}{0,78} = 0,013$$

c'est-à-dire aussi grande que la résistance de tout le circuit métallique.

De même que dans un circuit électrique l'intensité du courant est égale à la différence de potentiel divisée par la résistance, on a pour un circuit magnétique.

$$\text{Intensité de flux} = \frac{\text{force magnéto-motrice}}{\text{résistance magnétique}}$$

Nous voyons donc que notre feuille de papier ayant doublé la résistance magnétique a diminué de moitié l'intensité du flux.

Vous pourrez pratiquement vérifier le fait. Votre électro-aimant qui portait tout à l'heure une dizaine de kilogrammes n'en porte maintenant peut-être plus que 4 à 5. C'est que non seulement la feuille de papier a créé une résistance double, mais elle a aussi provoqué une dispersion du flux dans l'atmosphère.

Si malgré la présence du papier nous voulons maintenir le même flux, il faudra doubler la force magnéto-motrice, c'est-à-dire les ampèretours, ce que nous pouvons faire en doublant soit le nombre de tours, soit l'intensité du courant ; dans ce dernier cas, si nous dépassons par trop la limite d'échauffement, il n'y a qu'une seule solution, refaire l'électro avec deux fois plus de tours, conséquemment avec des noyaux plus longs.

Au fur et à mesure que l'entrefer croît, la résistance magnétique et la dispersion du flux augmentent considérablement. Avec un entrefer de 1 mm. l'électro ne supportera plus que quelques centaines de grammes.

La résistance de l'air n'entre pas seule en jeu ; il y a aussi la question des surfaces en présence.

Dans une étude sur l'électro-aimant, M. Ch. Féry a mesuré la diminution de force attractive d'un même électro-aimant dont il faisait varier la surface des pôles en vissant successivement dans les noyaux des pièces polaires de 10, 10 et 63 mm. de diamètre.

L'armature était fixée au fléau d'une balance et séparée des pièces polaires de l'électro-aimant par des cales de verre dont l'épaisseur était mesurée avec soin ; ce corps présente d'ailleurs une perméabilité très sensiblement égale à celle de l'air.

On chargeait ensuite la balance de poids croissants jusqu'au moment du décollage, ce qui mesurait l'attraction pour la distance représentée par les lames de verre. Voici quelques nombres obtenus par trois diamètres de pièces polaires.

Distance de l'armature aux pièces polaires en millimètres	FORCE PORTANTE EN GRAMMES		
	Diam. des pièces polaires 10 millim.	Diamètre 40 millimètres	Diamètre 63 millimètres
0.0	2000	720	335
1.3	250	290	195
7.2	12	54	55
14.4	5	20	25
21.6	3	10	15
28.8	2	5	9
36.0	1.5	3	5

Si nous examinons ces chiffres au point de vue de la force portante (les pièces polaires plaquant sur l'armature), nous voyons que pour un même électro-aimant des pôles étroits sont favorables à une très grande force portante ; par contre l'attraction à distance décroît extrêmement vite.

De grandes surfaces polaires sont préférables pour des efforts exercés à grande distance.

Pour de petites distances, l'augmentation de surface n'offre pas un grand avantage ; l'attraction diminue même pour une certaine limite. En effet, à 1.3 mm. de distance, l'effort est de 250 grammes pour un diamètre de 10 mm. de pièces polaires, tandis qu'il n'est plus que de 195 pour un diamètre de 63 mm.

Voici (fig. 20) deux formes d'électro-aimant avantageuses

pour réaliser le but généralement recherché en horlogerie qui est : grand force attractive à petite distance.

La première forme est celle en fer à cheval avec grand écartement des pôles ; a est l'armature mobile.

La seconde forme ne demande qu'une seule bobine ; c'est l'électro-aimant droit dont les extrémités du noyau sont simplement munies des pièces polaires p p' .

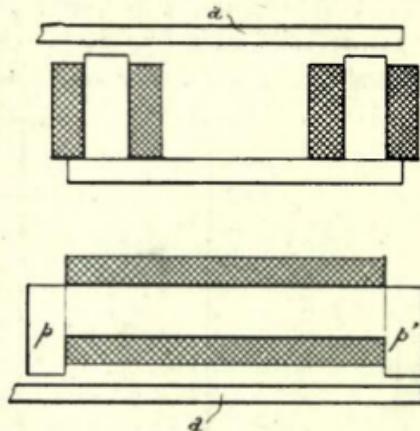


Fig. 20

Le point principal recherché par ces deux formes est *un grand écartement des noyaux* pour éviter qu'une bonne partie du flux ne s'écoule d'un noyau sur l'autre sans passer par l'armature, comme cela arriverait dans l'électro-aimant de la fig. 19 si on voulait utiliser cette forme pour l'attraction à distance.

De ce qui a été dit, on conclura qu'ayant en vue l'attraction à distance, on fera le flux aussi grand que possible, c'est-à-dire qu'on allongera les noyaux pour y pouvoir loger un grand nombre d'ampère-tours.

Electro-aimant cuirassé

Nous savons que la grande déperdition des lignes de force dans l'électro-aimant droit est la cause de sa faible force portante.

L'électro-aimant cuirassé a pour but d'offrir un circuit métallique de retour au flux magnétique, ce qui augmente ainsi considérablement la force portante tout en conservant la forme de l'électro-aimant droit. La bobine *e*, fig. 21, qui

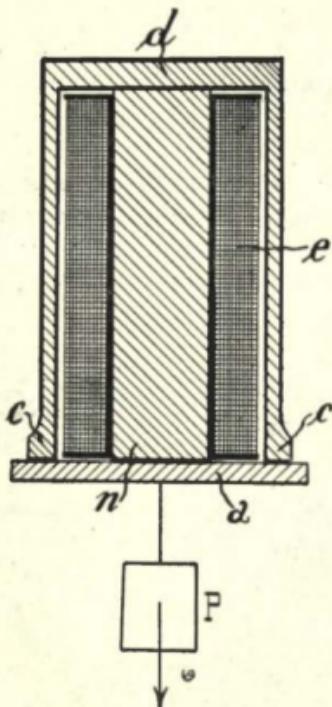


Fig. 21

entoure le noyau *n*, est recouverte d'une cuirasse, d'un manchon de fer fixé par son fond *d* au noyau, tandis que ses extrémités libres *c*, légèrement épanouies pour offrir

plus de surface, plaquent exactement ainsi que l'extrémité active du noyau sur l'armature *a* qui porte le poids *P*.

De cette façon, les lignes de forces sortant du noyau *n* suivent le chemin métallique de l'armature *a* et de la cuirasse *c d* pour rentrer par l'autre extrémité du noyau.

Il est presque inutile de faire remarquer que cet électro-aimant, très avantageux comme force portante, est à rejeter pour des attractions à distance. La cuirasse étant très proche du noyau, le flux passe facilement du noyau à la cuirasse et l'armature n'en reçoit qu'une partie.

Electro-aimants à action étendue, bobines et plongeurs

Lorsque, dans un électro-aimant, on supprime le noyau de fer, la bobine parcourue par le courant électrique réalise un solénoïde. La bobine demeure avec toutes les propriétés d'un aimant et présente un pôle Nord et un pôle Sud à ses ouvertures.

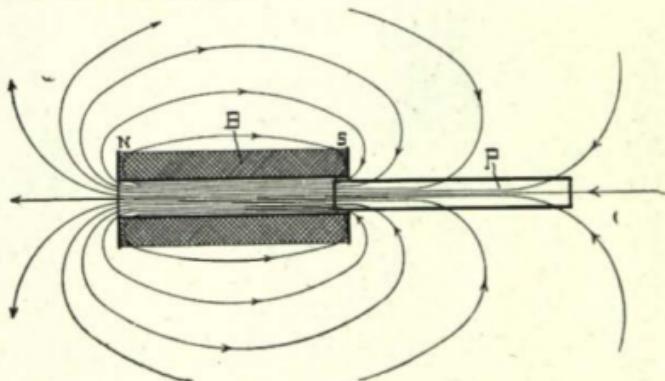


Fig. 22

Si à l'extrémité Sud de la bobine *B* (fig. 22) nous présentons l'extrémité d'un barreau mobile en fer doux *P* (appelé alors noyau plongeur), le fer étant un milieu considéra-

blement plus perméable que l'air, les lignes de force trouvent un chemin facile dans le barreau et, comme elles tendent à se raccourcir, celui-ci est sollicité à pénétrer dans la bobine. Au fur et à mesure qu'il s'enfonce, il est parcouru par un flux plus puissant ; la bobine opère sur lui un effort de succion qui augmente progressivement pour devenir maximum lorsque l'extrémité du barreau est proche du centre de la bobine.

La position exacte de cet effort dépend surtout de la forme et des dimensions du barreau. Une fois cette position dépassée, l'effort diminue et le barreau s'immobilise au moment où ses extrémités ressortent de quantités égales de part et d'autre des ouvertures N et S .

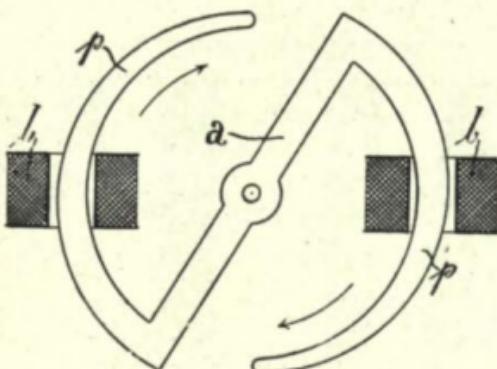


Fig. 23

Tiré d'un côté ou de l'autre, le barreau revient à cette position d'équilibre dès qu'on l'abandonne à lui-même. L'action obtenue par les bobines et plongeurs est plus régulière et l'effort soutenu sur un chemin beaucoup plus long que dans l'électro-aimant.

La fig. 23 représente un dispositif dans lequel l'armature a se meut sous l'action qu'exerce le flux des bobines b sur les deux plongeurs p .

Les plongeurs, amincis à leurs extrémités, tendent à pénétrer toujours plus profondément dans les ouvertures au moment du passage du courant, ce qui détermine un grand

mouvement angulaire de l'armature dans le sens des flèches. L'effet dépend beaucoup de la forme du plongeur ; c'est ainsi que, dans le cas de faibles flux magnétiques, les bobines aspirent les plongeurs creux avec la même force que les massifs, à la condition toutefois que le flux ne sature pas le plongeur, car alors le gain n'est plus en rapport avec la dépense et il est évident qu'un plongeur creux est plus vite saturé qu'un massif.

Dans les plongeurs coniques, l'effort croît avec la pénétration ; il est toutefois inférieur à celui exercé par les plongeurs cylindriques.

Une combinaison mixte du plongeur et de l'électro-aimant est réalisée par les dispositifs des fig. 24 et 25.

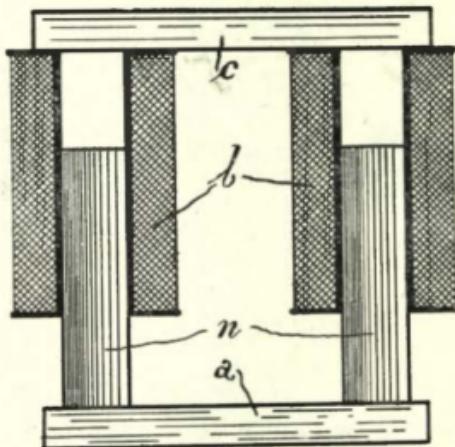


Fig. 24

Dans la fig. 24 l'armature mobile se compose de deux noyaux plongeurs cylindriques *n*, réunis par la pièce *a* et pouvant glisser dans les bobines *b* fermées par la culasse *c*.

Dès que le courant circule dans les bobines, le flux magnétique tend à se fermer sur les parties métalliques et l'attraction de l'armature augmente rapidement avec l'enfonnement des plongeurs. Elle est maximum quand l'entrefer est nul.

Dans la fig. 25 l'électro-aimant est constitué par une culasse *c* et deux noyaux *n* sectionnés obliquement et enchassés dans les bobines. L'armature mobile comprend les deux portions restantes des noyaux *n'*, lesquelles glissent librement dans les bobines et sont rivées à la pièce de fer *a*. Les surfaces de contact sont grandes et l'entrefer *e* ne croit pas aussi rapidement que l'éloignement de l'armature *a*; celle-ci peut rester de ce fait plus longtemps sous l'influence utile du flux magnétique.

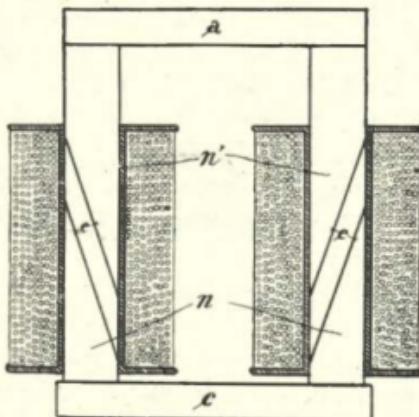


Fig. 25

Bobines et noyaux plongeurs sont peu ou même pas du tout employés dans les mécanismes d'horlogerie, probablement par le fait qu'ils n'exercent pas des efforts aussi puissants que ceux de l'électro-aimant. Nous verrons dans la suite qu'ils ont trouvé cependant une importante application dans l'entretien électrique des oscillations du pendule.

Electro-aimants à courant alternatif

Les électro-aimants examinés jusqu'à présent étaient parcourus par le courant continu ; il nous reste à dire quelques mots de ceux actionnés par le courant alternatif.

Au point de vue construction, ils diffèrent essentiellement des premiers par des noyaux, culasses et armatures non plus massifs, mais *feuilletés* ou *divisés*, c'est-à-dire constitués soit par des fils de fer recuits assemblés en faisceau, soit par des tôles minces également réunies sous la forme désirable. Fils de fer ou tôles sont recouverts individuellement d'une couche de vernis isolant. Le pourquoi de cette construction particulière nous sera donné quand nous connaîtrons les phénomènes de l'induction, les courants de Foucault en particulier.

Quant aux effets de l'électro-aimant à courant alternatif, ils sont assez complexes en raison des phénomènes d'induction qui interviennent. Bornons-nous à signaler que ces effets sont à peu près les mêmes que ceux de l'électro-aimant à courant continu pour ce qui concerne les armatures en fer. A égalité de conditions, ils auraient pourtant l'avantage d'exercer des efforts plus constants pour des déplacements relativement grands de l'armature. Leurs effets sont surtout très curieux et spéciaux quand les armatures sont en métaux non magnétiques (cuivre, laiton, argent) ; tandis que l'électro-aimant à courant continu n'a sur ces métaux aucune action appréciable, l'électro-aimant à courant alternatif développe dans ces armatures des courants d'induction qui donnent généralement lieu à des répulsions.

Armatures neutres et polarisées

Au point de vue aimantation, l'armature d'un électro-aimant peut être *neutre* ou *polarisée*.

On entend par *neutre* une armature qui ne possède pas d'aimantation, si ce n'est celle, passagère, qu'elle reçoit de l'électro-aimant au moment où le courant passe dans les bobines, aimantation qui provoque toujours des attractions. Les armatures neutres sont en fer doux.

Dans les armatures *polarisées*, il s'agit, comme le nom l'indique, de pièces d'acier présentant deux pôles sur lesquels ceux de l'électro-aimant réagissent suivant les aimantations en présence.

Une armature peut être polarisée tout en étant en fer doux ; il suffit pour cela qu'elle soit constamment en contact avec un aimant permanent.

Nous ne nous attarderons du reste pas davantage à des définitions. Nous étudierons dans la suite quelques applications typiques de l'électro-aimant, où nous rencontrons ces deux genres d'armatures.

Le résultat de cette incursion parmi les leviers, les roues et les bobines de quelques horloges nous fera toucher aux effets des unes et des autres.

La désaimantation

Maintenant que nous sommes quelque peu renseignés sur l'aimantation, ses causes et ses effets, il nous reste à examiner un de ses dangers, un mal bien connu des horlogers et redouté du réglleur en particulier : l'aimantation dans la montre.

La montre simple et combien davantage la montre compliquée contiennent de nombreuses pièces d'acier

susceptibles de s'aimanter par influence dès qu'elles se trouvent dans un champ magnétique. Or rien de plus facile aujourd'hui que de se trouver avec sa montre dans un champ magnétique. L'usage si répandu du moteur électrique nous en donne journellement l'occasion, témoin, entre beaucoup d'autres, l'aventure racontée par le *Journal suisse d'horlogerie* de ce fabricant d'horlogerie qui déposait sa valise contenant 85 montres sous la banquette d'un tramway électrique et qui constatait à son retour que son lot de montres, alors parfaitement réglées, accusait maintenant des erreurs de marche énormes, pas moins de cinq à six minutes d'écart dans les positions plat et pendu.

La valise déposée sous la banquette s'était trouvée à proximité du moteur de la voiture, dans le puissant champ magnétique qu'il développe. Le mal provenait donc de l'aimantation acquise par les parties acier de la montre.

Il est aisément de comprendre que la marche d'une telle montre n'est plus régulière. Les pièces d'acier fixes influençant les pièces d'acier mobiles des organes régulateurs balancier et spiral, il se produit entre elles des attractions ou des répulsions perturbatrices. La présence de pièces aimantées se constate facilement ; il suffit d'approcher une boussole sensible de l'endroit soupçonné. Aussitôt le mal reconnu, on s'empressa de le combattre et, comme bien on le pense, les remèdes ne manquèrent pas. Un de ces moyens consiste à éviter l'aimantation possible par l'emploi, pour les organes délicats, de métaux non magnétiques tels que le palladium et le laiton par exemple ; c'est la montre antimagnétique apparue sur le marché il y a une cinquantaine d'années. Nous ne décrirons pas les nombreuses machines à désaimanter qui apparurent en même temps qu'elle.

Il nous suffit de savoir qu'on arrive aujourd'hui à désaimanter sinon radicalement, du moins très efficacement. Le résultat n'est pas toujours brillant et spontané, en raison de l'extrême diversité des formes et de la complexité que présente l'ensemble des pièces d'acier de la montre.

Le principe de la désaimantation consiste à soumettre la montre tout entière ou seulement la pièce aimantée à une action magnétisante *décroissante* s'exerçant dans *tous les sens* de façon à neutraliser l'aimantation propre de la pièce traitée.

On arrive à ce résultat en approchant la pièce à désaimanter d'un fort aimant et en l'éloignant progressivement en ayant soin pendant ce mouvement de faire tourner soit l'aimant, soit la pièce.

Mais les meilleurs résultats sont obtenus par l'emploi des bobines creuses (solénoïdes) à l'intérieur desquelles on crée par le courant alternatif un flux intense changeant constamment de sens (environ 80 fois par seconde).

Une telle bobine est représentée (fig. 26) et employée à l'École d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds, où elle donne en général d'excellents résultats. Son fil mesure 1 mm. de diamètre ; un courant alternatif l'excite sous une tension de 110 volts.

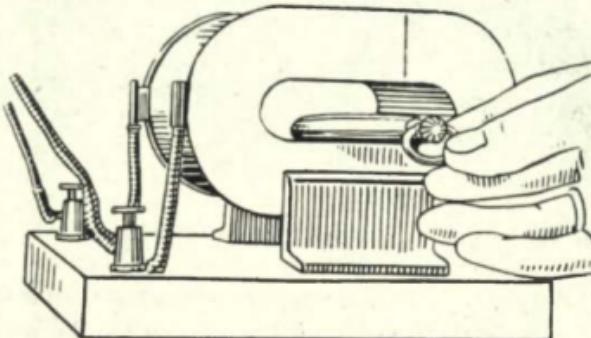


Fig. 26. — Bobine à désaimanter

La pièce à désaimanter est présentée à l'intérieur et retirée lentement hors du champ magnétique ; elle a ainsi été soumise à une série de flux magnétiques contraires, décroissants, qui lui ont fait perdre son aimantation propre.

Cette bobine a un inconvénient en ce sens qu'elle exige le courant alternatif, qu'on n'a pas toujours à sa disposition. L'École d'horlogerie de Glashutte i/S a construit une

une petite machine (fig. 27) qui remédie à cet inconvénient en permettant d'utiliser le courant continu.

Le courant est amené par la prise à fiche *P* et le cordon souple dans l'alternateur *A* qui s'actionne à la main par la manivelle *M* et dont le but est de transformer le courant continu en courant alternatif. Le mouvement très rapide de la roue *R* est communiqué à l'alternateur même qui pour un tour de la manivelle change 60 fois le sens du courant. Le courant ainsi transformé parcourt les spires de la bobine démagnétisante *B*.

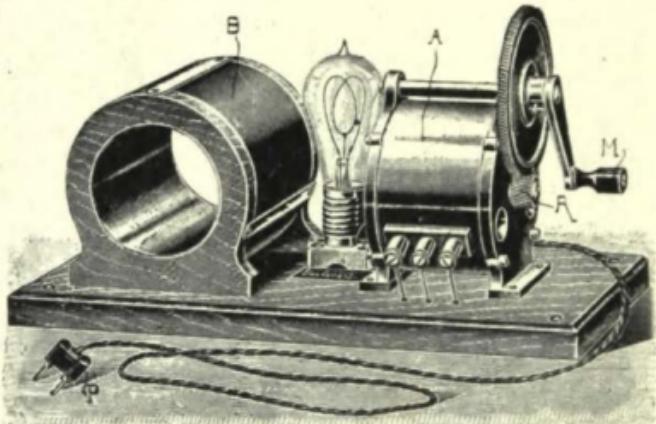


Fig. 27. — Bobine à désaimanter avec alternateur de courant

La lampe intercalée dans le circuit électrique a le double but d'indiquer la présence du courant dans l'appareil et celui d'empêcher la formation d'étincelles de rupture dans l'alternateur.

Les deux appareils que nous venons de décrire ont encore un défaut ; ils sont très coûteux.

Certains rhabilleurs se contentent d'un procédé plus rustique, qui peut à l'occasion diminuer le mal et qui consiste tout simplement à faire tourner la montre à désaimanter à l'extrémité d'une ficelle en l'éloignant progressivement des pôles d'un fort aimant.

CHAPITRE IV

L'induction

Nous abordons avec l'étude de l'*Induction* une des parties les plus séduisantes de l'Électricité ; celle qui mène insensiblement à ces troublantes expériences, ces lointaines communications établies sans liens matériels ni fils d'aucune sorte.

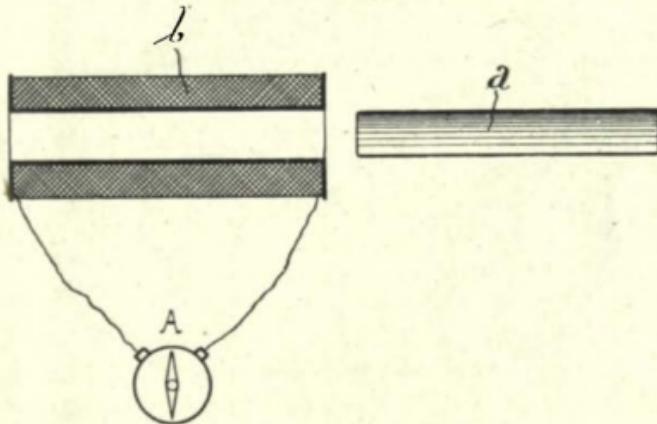


Fig. 28

Lorsque Faraday, en 1832, remarqua qu'un barreau de fer placé à l'intérieur d'une bobine s'aimante dès que le courant circule, il vint à se demander si le contraire n'était possible. N'y aurait-il pas moyen, pensa-t-il, de créer du courant dans une bobine en y introduisant un aimant ? Il tenta l'expérience. Ayant réuni les deux extrémités du fil d'une bobine *b* (fig. 28) aux bornes d'un appareil *A* très

sensible aux courants électriques, il enfonça vivement un barreau fortement aimanté *a* dans l'ouverture de la bobine. L'expérience confirma sa pensée, l'aiguille de l'appareil avait dévié. En retirant vivement le barreau, nouvelle déviation de l'aiguille, mais en sens contraire.

L'expérience de la fig. 29 va nous donner l'explication de ce phénomène.

Soit *M* un aimant permanent, *a* une boucle de cuivre dont les extrémités sont reliées à un appareil *A* sensible aux courants.

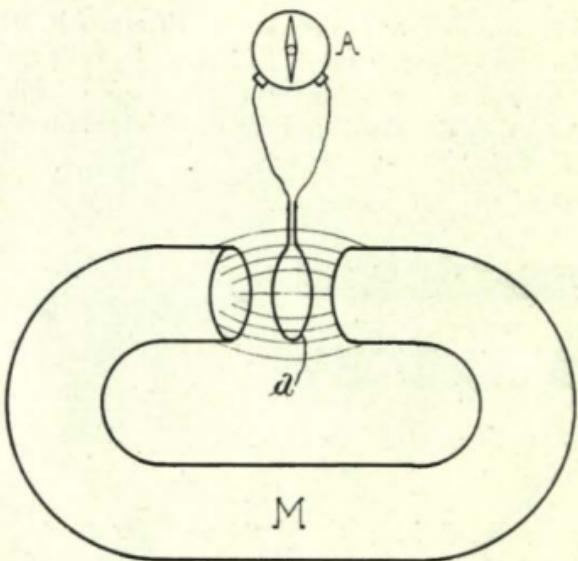


Fig. 29

La boucle *a* étant dans la position représentée est traversée par un certain nombre de lignes de force, supposons 16.000. Si nous la retirons vivement hors du champ magnétique, elle n'est plus traversée par aucun flux. Cette variation de flux de 16.000 à 0 a déterminé dans la boucle *un courant électrique induit*, courant qui s'est manifesté par une déviation de l'aiguille de l'appareil *A*.

Le même phénomène se répète, mais en sens inverse,

quand on fait varier le flux de 0 à 16.000, c'est-à-dire quand on réintroduit la boucle dans le champ. On arrive au même résultat en laissant la boucle immobile et en supprimant brusquement l'aimantation (employer alors un électro-aimant et interrompre le courant exciteur), ou encore en la faisant tourner dans le champ magnétique. Dans ce dernier cas, en effet, tout mouvement de rotation détermine également une variation du flux embrassé. Dans la position représentée, la boucle étant parallèle aux pôles, il sera, avons-nous dit, de 16.000. Après un quart de tour, la boucle étant perpendiculaire aux pôles, le flux embrassé devient nul. Pendant le deuxième quart de tour, il augmente de 0 à 16.000 et ainsi de suite.

Le courant induit obtenu de la sorte change évidemment chaque fois de sens.

De cette expérience, nous concluons que : *toute variation de flux magnétique produite dans un circuit métallique fermé (boucle a) donne naissance dans ce circuit à un courant électrique appelé courant induit dont le sens et la durée dépendent du sens et de la durée de la variation du flux.*

Il nous est facile maintenant de comprendre ce qui s'est passé dans l'expérience de la fig. 28. Au moment de l'introduction du barreau aimanté *a* dans l'intérieur creux de la bobine *b* nous avons produit une variation de flux dans chacune des nombreuses spires de la bobine et le courant induit que nous a révélé l'aiguille de l'appareil *A* représente la somme des courants induits qui ont pris naissance dans chacune des spires.

Notons bien que c'est le *mouvement* de l'aimant qui a provoqué le courant induit, car, au repos (le flux ne variant pas), il laisse l'aiguille parfaitement tranquille.

Seul un appareil très sensible aurait pu nous faire voir qu'en enfonçant ou en retirant le barreau nous avons dû vaincre une certaine résistance, produire un travail mécanique, dont le fruit est précisément le courant induit de durée instantanée que nous a révélé l'aiguille.

Qu'arrivera-t-il si, au lieu d'enfoncer un aimant, nous

introduisons une bobine parcourue par un courant ? La réponse ne fait pas de doute. La bobine présentant toutes les qualités d'un aimant, il y aura même production de courants induits.

L'expérience de la fig. 30 rend très évidente aussi la production des courants induits.

Soit un électro-aimant M , dont le fil des bobines excité par le courant d'une pile est relié aux bornes de l'appareil A .

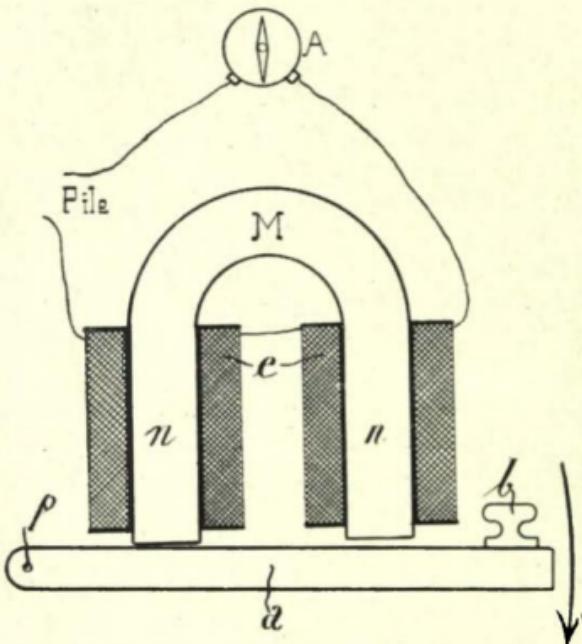


Fig. 30

L'armature a , mobile en p , est munie pour la manœuvre d'un bouton b .

Le courant passant dans les bobines e , l'aiguille de A dévie et reste sur la division 0,3 de l'appareil par exemple. L'armature a est attirée et plaque contre les noyaux n .

Appliquons maintenant sur le bouton b un violent coup de poing dans le sens de la flèche de façon à arracher brus-

quement l'armature ; l'aiguille dévie de la division 0,3 et accuse la formation instantanée d'un courant induit dans les bobines, courant d'autant plus intense et rapide que le coup de poing a été plus énergique. Après une série d'oscillations, l'aiguille s'immobilise de nouveau à la division 0,3.

En ramenant l'armature contre les noyaux, un nouveau courant induit se produit au moment du contact contre les noyaux n , mais, cette fois, de sens contraire au premier.

Dans les deux cas, le mouvement de l'armature a amené de grandes *variations* d'aimantation dans les noyaux n .

Le flux magnétique, intense quand l'armature *a* plaque sur les pôles, passe instantanément d'une très grande valeur à une très petite au moment où le coup de poing rompt le circuit métallique *a n M n*.

Il en est de même, mais en sens inverse, au retour de l'armature.

Ceux de nos lecteurs qui voudraient vérifier l'expérience sans l'achat toujours coûteux d'un appareil de mesure très sensible, le remplaceront simplement par l'ampoule d'une de ces petites lampes électriques de poche. A chaque arrachement de l'armature, l'éclat de la lampe augmente ; la vive lueur qui succède aux coups de poing rend l'expérience plus intéressante et plus probante encore.

L'appareil de la fig. 30, tel qu'il est décrit, est connu sous le nom du *coup de poing de Breguet*. Nous le retrouverons dans une importante application au pendule.

Les courants de Foucault

Les variations de flux magnétique n'ont pas seulement comme effet de provoquer des courants induits dans les fils conducteurs ; ces variations déterminent encore dans les masses métalliques — argent, cuivre, fer, acier — d'au-

tres courants, entre autres ceux de Foucault, que nous signalons ici en raison des applications qu'ils trouvent en horlogerie.

Une expérience des plus simples permet de constater ces courants.

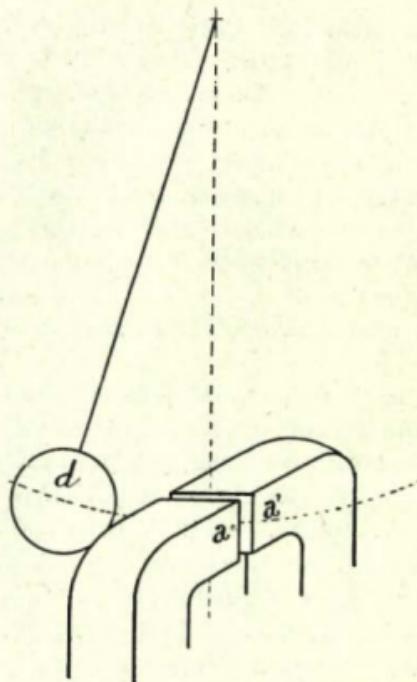


Fig. 31. — Courants de Foucault

Si nous faisons osciller un disque en cuivre *d*, fig. 31, entre les pôles *a* et *a'* d'un électro-aimant, nous ne remarquons rien de spécial tant que l'électro-aimant n'est pas excité. Mais, au moment où nous lui envoyons du courant, nous voyons le disque s'arrêter dans son oscillation et s'immobiliser comme s'il était coincé par des liens invisibles entre les surfaces des pôles *a a'*.

Ce phénomène est précisément dû aux courants de Foucault.

Le disque *d*, en pénétrant dans le champ magnétique créé par l'électro-aimant, coupe dans sa course un certain nombre de lignes de force ; la masse du disque est soumise à une variation de flux d'autant plus intense que sa vitesse était grande, et le résultat de cette variation est la formation de courants de Foucault dans le disque *d*, courants qui s'opposent à son mouvement en agissant sur lui à la façon d'un frein.

Les courants de Foucault s'opposent donc au déplacement de pièces métalliques dans les champs magnétiques, ce qui nous fait immédiatement supposer que ces courants ne doivent pas être très sympathiques aux électriciens. Dans le moteur électrique, par exemple, l'induit renfermant des masses métalliques tournant dans un champ magnétique intense devient immédiatement le siège de courants de Foucault qui absorbent inutilement de l'énergie et échauffent l'induit.

On arrive pourtant à les supprimer presque complètement ou du moins à les rendre inoffensifs en pratiquant de profondes rainures dans les pièces métalliques. Dans le cas de notre disque, une vingtaine de traits de scie pratiqués suivant des rayons feraient l'effet voulu, qui est d'empêcher ces courants de trouver un circuit fermé dans la masse mobile.

Ce qui est nuisible dans telle machine, peut au contraire devenir effet utile dans telle autre.

C'est ainsi que les courants de Foucault ont trouvé d'heureuses applications comme freins dans certaines horloges électriques de précision.

Le frein électromagnétique que nous décrivons ici (fig. 32) a été étudié en 1894 par le physicien français Cornu.

Ce frein est constitué par un tuyau métallique *a* qui forme l'intérieur d'une bobine creuse *b*, dont le fil est relié aux organes de l'horloge et à la pile. Nous n'envisagerons pour le moment que le rôle du tuyau métallique.

Le pendule *P* suspendu en *S* porte à son extrémité

inférieure un aimant permanent e , qui lors des oscillations entre dans la bobine et en sort alternativement.

D'après ce que nous avons dit plus haut, il est aisé de comprendre que ce mouvement de l'aimant e détermine une variation de flux magnétique dans le tuyau a , consé-

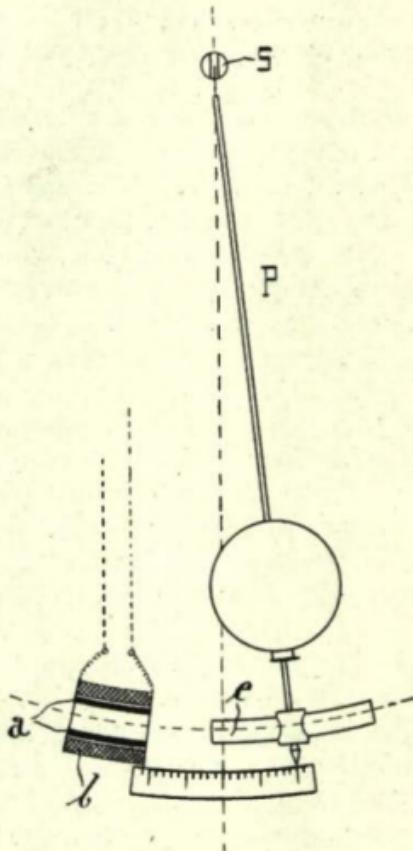


Fig. 32. — *Frein électromagnétique à courants de Foucault*

quemment des courants de Foucault qui s'opposent au mouvement de l'aimant et contrarient le pendule.

Plus la vitesse du pendule sera grande, plus aussi augmentera le freinage.

Ce simple aperçu nous permet déjà d'entrevoir l'effet régulateur des courants de Foucault sur les oscillations du pendule.

Comme nous le verrons plus loin, on peut aussi amortir les oscillations par la seule bobine *b* non munie du tuyau-frein *a*.

Le fil de la bobine doit pour cela être fermé sur lui-même pour que les courants induits créés par les déplacements de l'aimant *e* trouvent un circuit fermé et puissent se manifester.

Nous avons vu tout à l'heure que ces courants induits naissaient en empruntant le travail mécanique dépensé pour mouvoir l'aimant dans l'intérieur de la bobine. Dans le cas qui nous occupe, ce travail n'est plus emprunté à la main qui manœuvre l'aimant, mais bien au mouvement du pendule, dont les oscillations subissent ainsi un amortissement sensible.

Le moteur électrique

Si jamais vous avez visité une usine électrique, une de ces usines dites « transformatrices », vous aurez sans doute été plein d'admiration à la vue du moteur électrique : un sifflement aigu très caractéristique vous l'a signalé. Solidement calé, court et trapu, son premier aspect n'est certes pas aussi imposant que celui du moteur à explosion ; à le contempler, pourtant, on devine, sous les larges épaules métalliques qui l'encerclent et l'écrasent, une masse puissante qui tourne vertigineusement.

Ce même moteur, réduit aux proportions d'un jouet d'enfant, est dans les mains de l'horloger une précieuse petite machine. Il perd alors de son aspect terrible, tourne silencieusement et se contente comme pitance d'un courant très faible. Pas plus gros que le poing, il se loge aisément

derrière un cadran et sa force est suffisante pour remonter, par l'intermédiaire d'un train de roues et de pignons, les poids et ressorts d'horloges de tous formats.

Le principe du moteur électrique nous est déjà connu par l'expérience de la fig. 29 (page 72). Au lieu d'une seule boucle métallique se déplaçant dans un champ magnétique, il en comporte un grand nombre rassemblées sous forme de bobine ; cette partie du moteur s'appelle l'*induit* (fig. 33).

On appelle *inducteur* l'aimant ou l'électro-aimant qui produit le flux magnétique.

Quand l'*inducteur* est un aimant, comme celui représenté, il s'agit d'un moteur magnéto-électrique ou dynamo-électrique quand c'est un électro-aimant.

Le courant induit changeant de sens à chaque instant, on le redresse au moyen d'un *collecteur*, organe formé par des parties métalliques circulaires isolées les unes des autres et reliées aux fils des différents enroulements de l'*induit*.

Deux *balais* appuient sur le collecteur et récoltent le courant, qu'ils conduisent dans les fils *a* et *b*.

Rien n'est plus complaisant qu'un moteur électrique : quand on fait tourner son *induit*, il donne en échange du courant, quand on lui donne du courant, son *induit* se met à tourner.

C'est cette forme de transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique qui est utilisée dans les mécanismes d'horlogerie.

Le moteur de la fig. 33 est du type employé par l'ancienne fabrique « Silentia », à Besançon.

Le courant arrive de la pile aux fils *a* et *b*, passe dans les *balais* (en argent), de là sur le *collecteur* et dans l'*induit*, dont les nombreuses spires sont formées par du fil de cuivre isolé d'environ 0,1 m/m de diamètre.

L'*induit* a la forme d'un manchon ; il s'emboîte sans frotter, bien entendu, sur un prolongement en forme de noyau *n* (dessiné en pointillé) de l'*inducteur*.

Ce noyau facilite le passage du flux à travers les spires de l'*induit*.

L'axe de celui-ci, pivoté d'une part dans une crevasse du noyau n , de l'autre dans l'extrémité recourbée du support des balais, porte une denture hélicoïdale h en engrenage avec la roue R (en celluloïde), qui remonte périodiquement un ressort dans son bâillet par l'intermédiaire d'un rouage et d'un dispositif à contact.

Un second moteur, également destiné au remontage de pièces d'horlogerie, est représenté sommairement par la fig. 34.

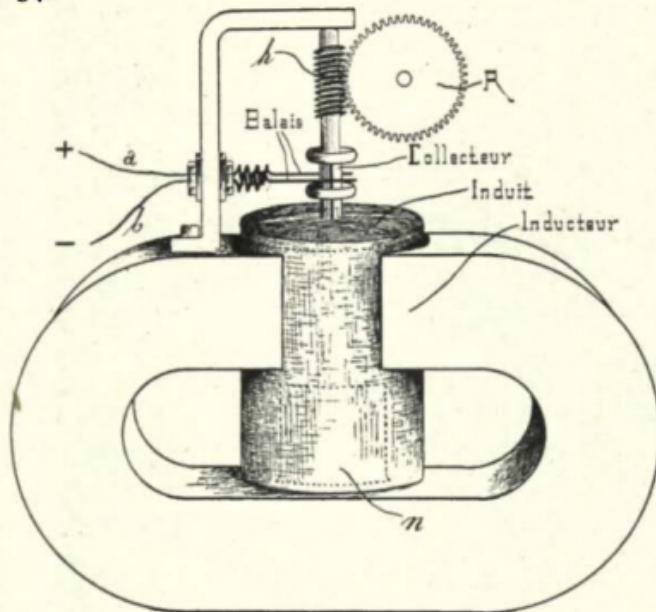


Fig. 33

I est l'induit du moteur composé d'un anneau circulaire n feuilleté — toujours pour lutter contre les fameux courants de Foucault,—sur lequel est enroulé un fil de cuivre isolé réparti par enroulements partiels e , dont le nombre est ici de 27, reliés trois à trois par un fil au collecteur C . L'inducteur est représenté seulement par ses pôles $P^1 P^2$ qui épousent en partie la forme de l'induit ; celui-ci, en tournant dans le champ magnétique développé par l'in-

ducteur, provoque le déplacement des spires de fil dont le flux embrassé varie suivant leur position.

Ce petit moteur présente une particularité intéressante. Ses balais $B^1 B^2$, qui reçoivent le courant moteur par les fils conducteurs a et b , ne frottent pas directement sur le collecteur comme dans le précédent moteur décrit ; ils appuient sur les axes $O^1 O^2$ de deux roues $R^1 R^2$ dont la périphérie est constamment en contact avec celle du collecteur, de telle façon qu'il les entraîne dans son mouvement de rotation.

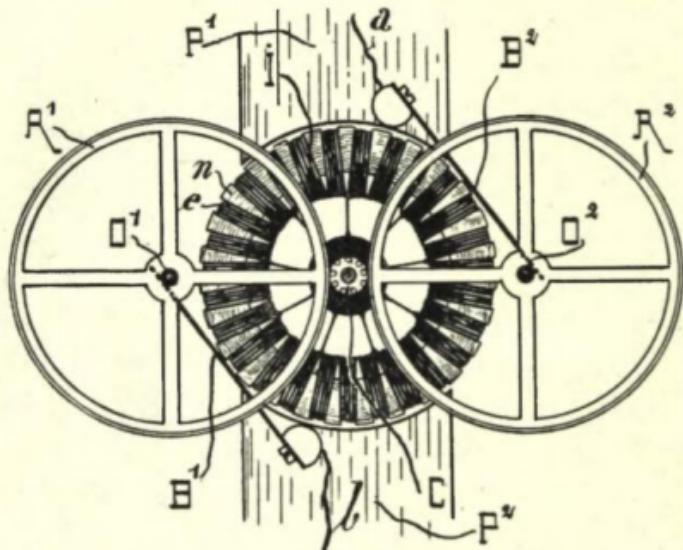


Fig. 34

Le but recherché par cette disposition est de remplacer le frottement direct des balais sur le collecteur par du roulement. Les balais frottent bien encore sur les axes $O^1 O^2$; mais, comme ces axes sont de petit diamètre et tournent très lentement par rapport au collecteur, le frottement et l'usure sont négligeables.

Cette ingénieuse disposition des balais est due à M. Ch. Poncet, directeur de l'École Nationale d'horlogerie à Cluses.

CHAPITRE V

L'étincelle nuisible

Toute étincelle électrique qui jaillit entre deux pièces métalliques détermine une oxydation aux endroits touchés, dont l'effet est de rendre les parties atteintes mauvaises conductrices d'électricité.

Il résulte que, par suite d'étincelles même très petites, mais souvent répétées, entre les pointes ou les surfaces chargées d'établir des contacts, celles-ci s'oxydent et opposent une résistance croissante au passage du courant jusqu'à l'intercepter même complètement.

L'étincelle, dans un mécanisme d'horlogerie est donc aussi préjudiciable que la rouille dans les organes delicats de la montre.

Mais, direz-vous, étant donnés les courants très faibles employés dans les horloges, l'étincelle ne doit pas être à craindre.

Si vous essayez en effet, comme argument, de tirer des étincelles aux bornes d'un ou deux éléments de pile, le résultat est des plus maigres et, dans ces conditions, l'étincelle est bien anodine.

Mais, dans une horloge électrique, les choses se passent très différemment. Le fil conducteur, en passant par la ou les bobines de l'électro-aimant, fait plusieurs centaines de tours sur lui-même. Le résultat de cette gymnastique imposée au courant est un phénomène d'induction que nos connaissances actuelles expliquent sans peine et dont voici les conséquences.

Faisons passer le courant de la pile P (fig. 35) dans une résistance R = 10 ohms constituée par quelques tours *n* de fil en ferro-nickel par exemple.

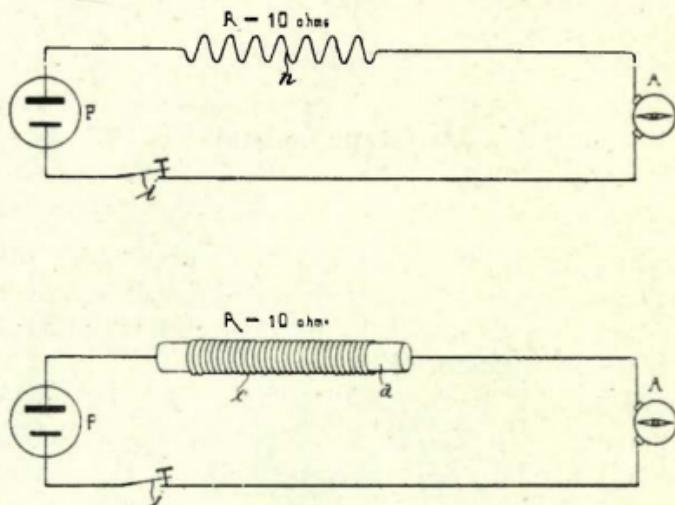


Fig. 35

Un interrupteur *i* nous permet d'ouvrir et de fermer le circuit sur les bornes de l'ampère-mètre A.

La pile P ayant entre ses bornes une différence de potentiel U = 1,6 volt, la résistance R du conducteur étant de 10 ohms, l'aiguille de l'ampèremètre indiquera instantanément une intensité

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1,6}{10} = 0,16 \text{ ampère}$$

Tout se passe normalement ; l'ouverture et la fermeture du circuit par l'interrupteur *i* se font sans étincelles appréciables.

Modifions légèrement l'expérience en remplaçant simplement le fil *n* par une même résistance R = 10 ohms, mais cette fois-ci constituée par un fil de cuivre isolé *c* faisant de nombreux tours sur un barreau *a* de fer doux, comme cela se présente dans les électro-aimants.

La pile étant la même, la résistance R restant de 10 ohms, il semble qu'au moment de la fermeture ou de l'ouverture du circuit les choses doivent se passer comme dans la première expérience. Il n'en est pourtant pas ainsi.

On constate :

1^o Qu'au moment de la fermeture du circuit, l'aiguille de l'ampèremètre n'indique pas instantanément une intensité $I = 0,16$ ampère ; qu'elle met un certain temps pour atteindre cette division.

2^o Qu'au moment de la rupture une forte étincelle jaillit entre les contacts de l'interrupteur i .

Ce double phénomène s'explique ainsi.

Au moment de la fermeture, le courant passant dans les nombreuses spires c aimante le barreau de fer doux a .

De 0, le flux du barreau passe donc à une certaine valeur, supposons 5000 ; il y a donc variation de flux à l'intérieur des spires c , d'où naissance d'un courant induit. Le sens de ce courant est opposé à celui de la pile ; il le contrarie, ce qui explique le temps mis par l'aiguille de l'ampèremètre pour arriver à la division 0,16.

Au moment de la rupture, l'aimantation du barreau a tombe brusquement de 5000 à 0 ; nouvelle variation de flux et production d'un courant induit, mais cette fois de *même sens* que celui de la pile auquel *il s'ajoute*. De ce fait, au moment où le circuit est interrompu, la tension du courant est alors assez élevée pour lui permettre de vaincre la résistance de la mince couche d'air déjà interposée entre les contacts de l'interrupteur i et de passer sous la forme d'une brillante étincelle.

Ces deux expériences ont une grande importance pratique. On peut les résumer en disant que les enroulements des bobines ont pour effet :

1^o de retarder l'établissement du courant au moment de la fermeture du circuit ;

2^o de provoquer une forte étincelle au moment de la rupture.

C'est pour n'avoir pas tenu compte de ces effets, surtout du second, que beaucoup d'inventeurs horlogers

ont échoué dans leurs combinaisons. Les horloges fonctionnent à merveille pendant un certain temps ; elles accusent ensuite des « ratés » ou s'arrêtent, et l'examen révèle des contacts noircis par la fâcheuse étincelle.

L'expérience de la fig. 35, comme aussi celle de la fig. 30, ont ceci de particulier que les courants d'induction prennent naissance dans le circuit même qui les provoque, c'est-à-dire qu'un enroulement de fil parcouru par un courant *s'induit lui-même* à chaque ouverture et fermeture de son circuit.

Nous nous expliquons ainsi le terme de *self-induction* employé pour désigner ce phénomène, sachant que *self* (pronom anglais) signifie *soi-même*.

Tout circuit électrique qui comporte des enroulements de fil présente de la selfinduction. Cette selfinduction sera d'autant plus forte que le nombre de tours de fil et l'intensité du courant seront grands ; la selfinduction sera aussi considérablement augmentée si l'enroulement est fait sur un noyau métallique, car, à égalité de conditions, le flux magnétique développé et conséquemment les variations possibles de ce flux seront plus fortes dans le noyau de fer doux que dans l'intérieur creux d'une bobine.

Les courants induits dûs à la selfinduction se désignent très souvent sous le nom d'*extra-courant*. On dira : extra-courant de fermeture, extra-courant de rupture.

Moyens d'éviter l'étincelle

Les moyens employés pour lutter contre l'étincelle de rupture sont nombreux.

Nous n'examinerons que ceux qui intéressent particulièrement l'horloge électrique.

La plupart de ces moyens ont pour principe d'offrir au courant électrique, surélevé au moment de la rupture,

un circuit fermé de grande résistance dans lequel il puisse s'anéantir sans jaillir sous forme d'étincelle.

Dans la fig. 36, P étant la source d'électricité, E un électro-aimant et I l'interrupteur du circuit électrique, on fait dériver le courant dans une résistance R prise sur les points *a* et *b* du circuit, c'est-à-dire à cheval sur l'interrupteur. Au moment de la rupture, le courant surélevé s'anule dans la résistance R, où il trouve un chemin moins résistant que la couche d'air déjà interposée entre les contacts.

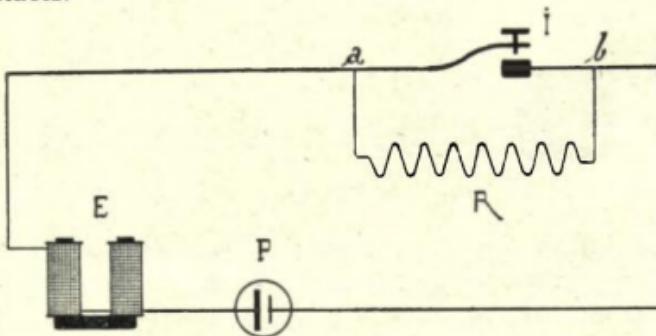


Fig. 36

La résistance R consiste en un fil de platine très fin, ou un autre métal résistant ; elle doit être environ 50 fois plus grande que celle de l'électro-aimant E.

Ce procédé a été mis en pratique déjà en 1854. Il a l'inconvénient de laisser le circuit constamment fermé sur la résistance R, ce qui dépense inutilement le courant de la pile pendant le non-fonctionnement de l'électro-aimant. On remédie à cet inconvénient en établissant un double contact de façon à ne faire intervenir la résistance qu'au moment nécessaire, comme l'indique le dispositif de la fig. 37. Le double interrupteur I, en fermant le circuit de la pile P, ferme également le courant sur la résistance R ; il est réglé de telle façon que la distance entre les contacts *a*-*b* soit légèrement plus grande que celle entre *a'*-*b'*.

Au moment de la rupture *a* et *b* s'éloignent, la tension

du courant s'élève, mais, comme a' et b' sont encore en contact, elle se détend en partie dans la résistance R .

Une fois a' b' séparés, le circuit est complètement interrompu.

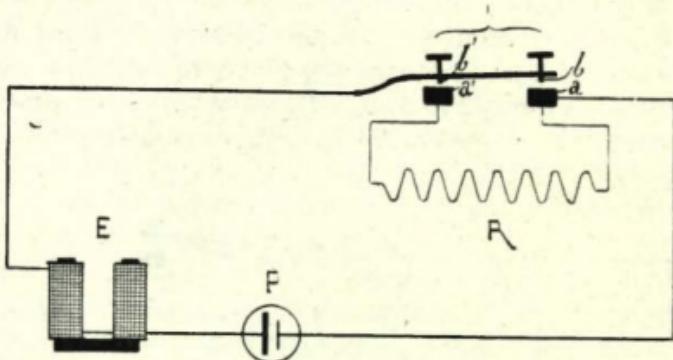


Fig. 37

Le principe des deux dispositifs décrits s'applique avec quelques variantes aux circuits d'horloges électriques. Le ou les interrupteurs sont constitués alors par des ressorts ou des disques et goupilles à contact, rapprochés et éloignés automatiquement par le mécanisme de l'horloge même ou un mécanisme indépendant.

La suppression de l'étincelle s'obtient également en faisant usage du *condensateur*. On désigne sous ce nom un appareil, fig. 38, se composant d'un certain nombre de feuilles d'étain empilées les unes sur les autres et toutes

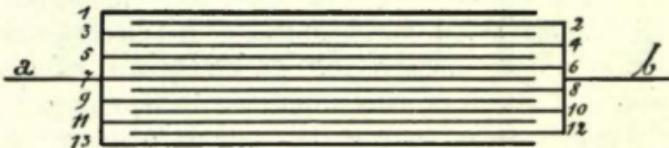


Fig. 38. — Condensateur

séparées par un corps diélectrique, c'est-à-dire une feuille de matière isolante très mince (papier paraffiné ou enduit de gomme-laque, feuilles de mica, de verre, etc.).

Les feuilles d'étain de rang impair 1, 3, 5, 7, 9, 11 et 13 sont assemblées et isolées des feuilles de rang pair 2, 4, 6, 8, 10 et 12 également réunies. Le courant arrive au condensateur par les fils *a* et *b*, qui constituent les *armatures* du condensateur.

Les corps diélectriques que nous venons de citer ne sont pas en réalité des isolants parfaits, comme on serait tenté de le croire. Placés dans les conditions que nous venons de décrire en parlant du condensateur, le verre ou le mica par exemple deviennent pour ainsi dire perméables au courant électrique ; ils emmagasinent une partie de l'énergie qu'ils reçoivent et donnent naissance à des courants de charge et de décharge dont nous saisirons assez clairement le mécanisme par une comparaison hydraulique.

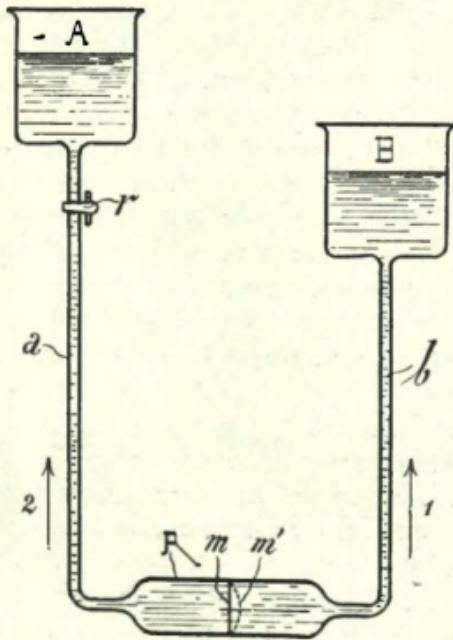


Fig. 39

Supposons (fig. 39) deux réservoirs *A* et *B* unis par les tuyaux *a* et *b* au récipient *R* muni d'une membrane cir-

culaire élastique m formant cloison entre les deux réservoirs.

Le robinet r du réservoir A étant fermé et les tuyaux a b ainsi que le récipient R étant remplis d'eau, le liquide exerce des pressions égales de part et d'autre de la membrane. Ouvrons le robinet r , la membrane se tendra et prendra la position pointillée m' sous l'effort exercé par la différence de niveau des réservoirs A et B . Ce mouvement de la membrane a déterminé un mouvement du liquide dans le tuyau b , soit un courant de très courte durée dans le sens de la flèche l , puis tout rentre au repos, en état d'équilibre; mais la membrane m reste tendue dans la position m' . Ce courant de courte durée est l'image du *courant de charge* d'un condensateur. Au moment où ses armatures sont soumises à une différence de potentiel, le diélectrique emmagasine une certaine énergie (tension de la membrane) et donne naissance à un courant de charge, puis le courant est complètement intercepté.

Si maintenant nous mettons en communication les tuyaux a et b de manière à rétablir les pressions existant au début de l'expérience, la membrane m' se détend, reprend la position m et provoque cette fois-ci un courant également de courte durée, mais de sens contraire au premier (flèche 2), dans le tuyau a ; c'est maintenant l'image du *courant de décharge* d'un condensateur dont on fait communiquer les armatures. Le diélectrique restitue l'énergie acquise.

Placé donc dans un circuit parcouru par le courant *continu*, le condensateur se charge dès que le courant passe, provoque un courant de charge, puis intercepte complètement le courant, constituant ainsi le rôle d'un isolant à résistance infinie.

Tout différents sont les effets du courant *alternatif*, car, alors, le courant changeant de sens, le condensateur se charge et se décharge tour à tour et le circuit reste parcouru par un courant alternatif qui est le courant de charge et de décharge du condensateur. La valeur de ce

courant dépend de la capacité du condensateur et du nombre d'alternances du courant.

La capacité d'un condensateur dépend de la surface totale des feuilles métalliques, de la distance qui les sépare et de la nature du corps diélectrique. A égalité de conditions, le mica est un meilleur diélectrique que le verre.

Les courants de charge et de décharge d'un condensateur peuvent être employés comme courants moteurs pour actionner des horloges secondaires (à armatures polarisées bien entendu, car ces courants sont forcément de sens contraire).

Notons toutefois que les horloges actionnées de cette façon doivent être construites spécialement, car les courants débités par un condensateur sont de durée excessivement courte pour ne pas dire instantanée. (Voir comme exemple d'application du condensateur dans ces conditions le brevet suisse 45521 de la maison Ericson Co, à Stockholm).

Utilisé pour absorber l'étincelle, le condensateur, de capacité convenable, se placera comme la résistance R de la fig. 36, à cheval sur l'interrupteur ou sur les fils d'entrée et de sortie de l'électro-aimant.

La tension du courant, surélevée au moment de la rupture, trouve dans le condensateur un excellent chemin de détente.

Placé sur l'interrupteur, la résistance ou le condensateur atténue les étincelles dues aux extra-courants de tous les appareils compris dans le circuit, plus celle due à la force électromotrice de la pile. S'il est placé à l'entrée et à la sortie d'une bobine, l'étincelle d'extra-courant de la bobine est alors seule combattue.

D'autres moyens encore pour tuer l'étincelle visent la construction des bobines.

Un des plus simples consiste à interposer une feuille métallique (étain, cuivre) entre chaque couche de fil ou à envelopper le noyau d'une feuille de cuivre. La présence

de ces surfaces métalliques combat assez efficacement l'étincelle, en intervenant comme condensateur.

Le premier moyen est risqué, car il expose à des contacts entre les diverses couches de fil.

D'autres procédés consistent en des enroulements spéciaux du fil sur les noyaux.

Le principe le plus généralement employé en horlogerie est celui du double interrupteur, dont nous verrons l'application dans quelques descriptions d'horloges.

Le condensateur aussi donne d'excellents résultats.

La question des contacts

En plus du mécanisme électrique, toute horloge électrique comporte un dispositif spécial chargé d'établir et de rompre le courant à intervalles réguliers.

Nous ne décrirons pas ici ces dispositifs, qui varient avec chaque système d'horloges ; leur fonctionnement s'explique en général par simple examen. Les ressorts, leviers, disques encochés, etc., qui les composent sont généralement commandés par l'un des mobiles du rouage et doivent naturellement emprunter le moins de force possible à l'organe moteur.

Ce qui nous intéresse surtout, c'est le contact lui-même.

Une première condition est que les surfaces qui établissent le courant soient métalliquement pures.

Des contacts oxydés ou salis par des huiles constituent des résistances que vaincront difficilement les faibles courants employés en horlogerie.

On utilisera des métaux peu oxydables, tels que l'or, le platine iridié et l'argent.

Il faudra s'assurer dans l'obscurité que la fâcheuse étincelle ne jaillit pas au moment de la rupture ; en tout

cas la réduire si possible, par un des moyens indiqués précédemment.

Comme deuxième condition, le contact doit être énergique ; la façon même dont il doit s'opérer est un sujet à controverses.

Certains constructeurs sont partisans des contacts qui agissent uniquement par pression ; d'autres exigent, en plus de la pression, le frottement par déplacement d'un des contacts. Nous croyons ce dernier moyen le plus sûr, tout en convenant que l'un et l'autre peuvent être excellents. L'essentiel est que le contact soit très intime, c'est-à-dire assez énergique pour vaincre les poussières toujours en suspens dans l'air, poussières qui ne manquent pas, avec le temps, de venir s'interposer, ajoutant ainsi un nouvel obstacle au courant.

Nous motiverons notre préférence pour les contacts à frottement en disant qu'ils sont certainement plus efficaces que ceux qui agissent uniquement par pression.

Certains contacts, par leur façon d'établir et de rompre le courant, peuvent aussi combattre directement l'étincelle.

Voici sur ce sujet une intéressante constatation faite par M. A. Favarger dans son ouvrage *L'électricité et ses applications à la chronométrie* :

« Récemment, M. Hipp a considérablement perfectionné son système d'interrupteurs, en constituant l'une des surfaces non plus par un seul ressort ou levier, mais par une série de lamelles légères *aa' a''* (fig. 40) juxtaposées sur un seul couteau platiné *b* qui leur sert d'axe commun ; un deuxième couteau *c* forme la seconde partie de l'interrupteur. Les résultats obtenus avec ce dispositif dépassent tout ce qui a été vu jusqu'ici. Un interrupteur semblable fonctionne depuis plus de neuf ans à l'Observatoire de Neuchâtel, fournissant un contact par deux secondes ; cela représente plus de 140 millions d'émissions de courant ; à l'heure qu'il est et malgré un travail semblable, les surfaces de contact sont

restées nettes et brillantes. Un tel succès doit, selon nous, être attribué au fait suivant : le plan des trois lamelles *aa' a''* n'est pas si rigoureusement parallèle au couteau *c* que celui-ci les touche toutes en même temps ; il commencera par entrer en contact avec l'une d'elles, la plus élevée, puis avec la seconde, puis avec la troisième. A la fin du contact, un phénomène analogue se produit en sens inverse, le couteau *c* abandonnant successivement les trois lamelles. Or la légèreté des lamelles est assez grande pour qu'un contact partiel

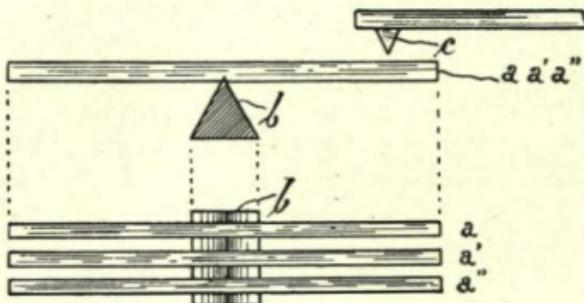


Fig. 40. — Contact à lamelles

avec une seule d'entre elles ne permette pas au courant de passer avec un maximum d'intensité ; ce maximum n'est atteint que peu à peu et à mesure qu'un plus grand nombre de lamelles étant touchées, la valeur de la pression au contact est devenue suffisante. De même, le courant ne cesse totalement qu'après avoir passé par des intensités de valeur intermédiaire. L'émission acquiert ainsi une forme ondulatoire particulièrement propre à la suppression des effets nuisibles de l'extra-courant. »

Quelle doit être la durée d'un contact ?

Mettant de côté la nature de l'effort à exercer, dans l'intérêt de la pile, pour lui conserver longue vie, on la fera naturellement aussi courte que possible.

Mais cette économie a des limites que fixent les dimen-

sions et le poids des organes à mouvoir. S'il s'agit d'un électro-aimant dont l'armature provoque un simple déclenchement très sensible, ou arme un ressort d'une faible quantité, quelques centièmes de seconde suffiront.

Dans ces cas extrêmes de très courte durée il est bon de tenir compte du retard à l'établissement du courant au moment de la fermeture, retard provenant, comme nous l'avons expliqué, de la formation d'un courant induit qui contrarie celui de la pile.

On peut considérer $1/10$ de seconde comme durée moyenne de contact dans beaucoup d'horloges indépendantes.

Il est préférable en tout cas de pécher par excès de durée ; un contact un peu trop long use simplement la pile plus rapidement, tandis qu'un contact trop court expose à des « ratés » ou à des arrêts ; il est bon aussi de se souvenir que l'épaississement des huiles, les poussières, l'oxydation, tout contribue avec le temps à exiger pour le fonctionnement des organes un effort plus considérable. Dans les systèmes d'unification de l'heure par l'électricité, l'horlogemètre envoie par exemple toutes les minutes un courant aux horloges secondaires. La durée de ce courant dépend de la grandeur et du poids des aiguilles à actionner ; malgré qu'elles soient équilibrées sur leur axe, elles ne peuvent, en raison de leur masse et de leur longueur, passer brusquement du repos au mouvement. Le courant doit d'abord vaincre leur inertie. Une fois qu'elles sont en mouvement, l'effort nécessaire pour les conduire est extrêmement réduit.

La durée des contacts dans ce cas varie de $0,1$ à $0,4$ seconde ; on peut considérer $0,8$ seconde comme le maximum de durée d'émission qui suffit pour actionner les plus grandes aiguilles.

Le même raisonnement s'appliquerait à des mécanismes d'horloges indépendantes constitués par des leviers relativement lourds ou ayant de longs chemins à parcourir.

Le relais

Lorsqu'une horloge distributrice (fig. 41) est appelée à commander un certain nombre d'horloges h h' h'' h''' ... le courant de l'élément l qui suffit à l'actionner est généralement insuffisant pour alimenter le reste du circuit, qui présente souvent une résistance considérable.

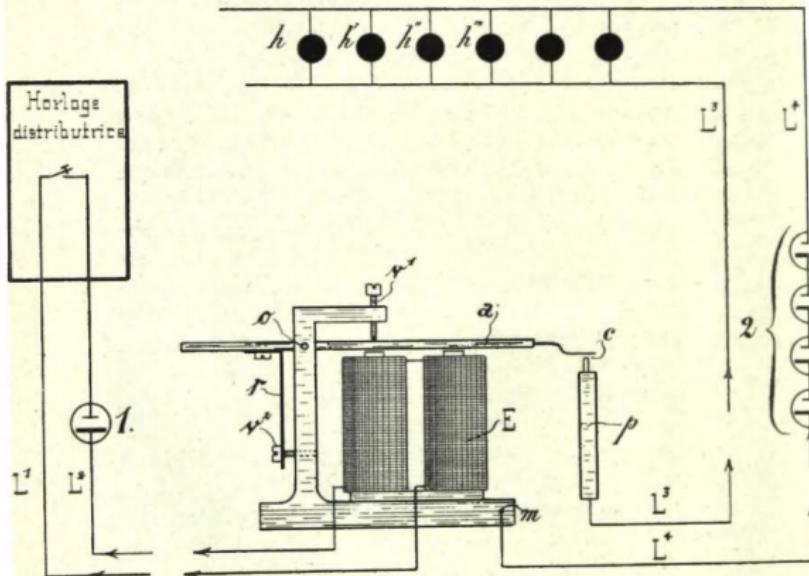


Fig. 41. — But du relais

Ce circuit doit alors être alimenté par une batterie d'éléments 2 indépendante de l'horloge distributrice. Le circuit de l'horloge distributrice et celui des horloges secondaires sont alors unis par un *relais*.

Le relais consiste dans sa forme la plus simple en un

électro-aimant E très sensible et capable d'opérer une attraction énergique sur son armature a . Cette armature a pivote très librement sur l'axe o , et un léger ressort r appuyant contre la tête de la vis v^2 tend à l'éloigner constamment des pôles de l'électro-aimant ; l'entrefer peut être réglé et limité par la vis v^1 .

Le circuit $L^3 L^4$ de la batterie 2 qui commande les horloges secondaires aboutit par une de ses extrémités à un plot isolé p et par l'autre à la masse¹⁾ m de l'électro-aimant ; de cette façon ce circuit est interrompu par l'espace c existant entre la tige portée par l'armature a et le plot p .

Toutes les minutes, par exemple, l'horloge distributrice ferme le courant de l'élément 1 sur le circuit $L^1 L^2$, qui comprend les bobines E de l'électro-aimant. L'armature a est attirée et son extrémité vient reposer sur le plot p fermant ainsi le circuit de la batterie 2 sur les horloges $hh' h'' h'''$ aussi longtemps que durera l'émission du courant de l'élément 1. Dès que celui-ci est interrompu, l'armature a est ramenée contre la vis v^1 et le circuit $L^3 L^4$ ouvert. Notre relais a donc eu comme but de substituer au faible courant de l'élément 1 celui plus intense de la batterie 2 pour la commande des horloges $h h' h'' hh''' \dots$

1. On entend ici par *masse* l'ensemble des pièces métalliques en contact d'un appareil. Dans le cas d'une horloge, relier un fil conducteur à la masse veut dire aux platines, ponts, rouages, etc... du mouvement. Si dans ce tout il se trouve un ressort, un organe quelconque qui ne doit pas communiquer électriquement avec ces pièces, on exprime sa situation en disant qu'il est isolé de la masse.

CHAPITRE VI

Les instruments de mesure

Ampèremètre, Voltmètre, Rhéostat

La plupart des instruments de mesure des courants utilisent les phénomènes d'aimantation que nous avons décrits ; nous n'en étudierons ici que deux, qui sont à peu près les seuls employés par le praticien : l'*ampèremètre* et le *voltmètre*.

L'*ampèremètre* représenté par la fig. 42 se compose d'un aimant permanent circulaire *A* disposé concentriquement à l'intérieur de la boîte *B* de l'appareil.

L'aimant *A* présente une ouverture circulaire à l'intérieur de laquelle est mobile un petit cadre *c* rigide, constitué par quelques tours isolés d'un fil de cuivre de très *petite résistance* et relié électriquement par une de ses extrémités à la borne *B¹* de l'appareil et par l'autre à la borne *B²* ; ce cadre (représenté sorti de l'appareil pour en mieux comprendre la structure) est porté par un axe *o* qui pivote dans deux petits ponts dont le supérieur *P* est seul dessiné. L'axe *o* porte une aiguille *a* qui se meut en regard du cadran de l'*ampèremètre*. Ce cadran, suivant la capacité de l'appareil, est divisé de 0 à 1 ampère, comme l'exemple représenté, ou de 0 à 10, 20, 30 ampères, etc. L'intensité d'un courant étant à mesurer, une des extrémités du fil conducteur est reliée à la borne *B¹*, l'autre à la borne *B²* et le courant à mesurer passe dans les quelques tours de fil du cadre *c*. A l'intérieur du cadre prend naissance un flux magnétique sur lequel réagit le flux de l'aimant permanent *A*. Le cadre

est dévié de sa position de repos; il tourne d'un certain angle avec son aiguille, qui s'arrête sur une des divisions du cadran. Plus le courant à mesurer est intense, plus le

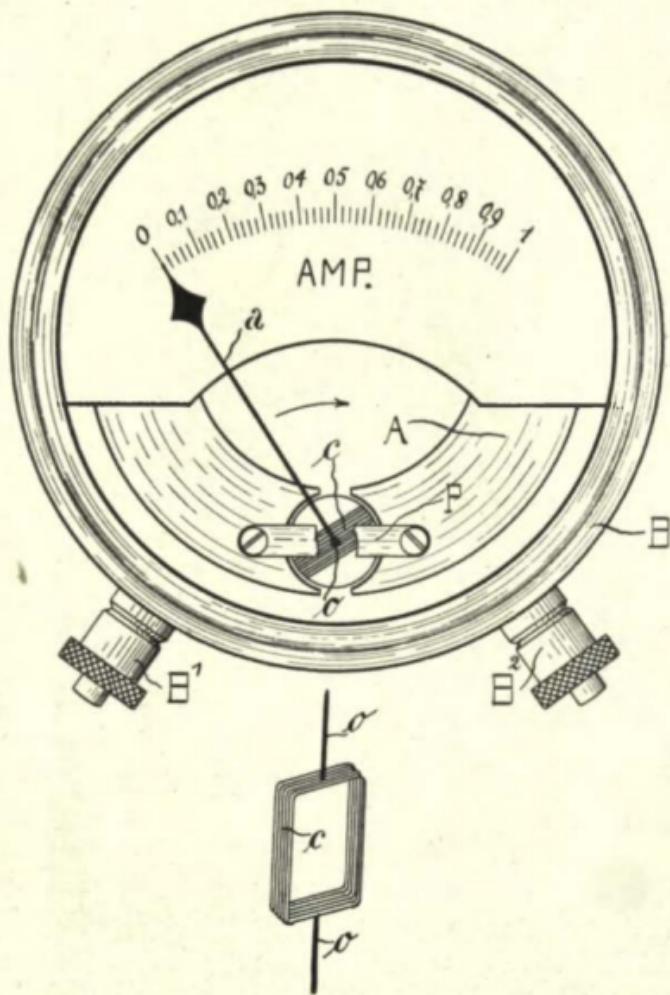


Fig. 42. — Ampèremètre

flux développé dans le cadre est considérable, et par conséquent grande la déviation de l'aiguille.

On conçoit facilement qu'un ampèremètre construit sur un tel principe ne puisse servir à mesurer de très grandes intensités. Le cadre mobile c est en effet délicat; un courant intense aurait vite fait de brûler le fil. On évite ce danger et on réalise en même temps un sérieux avantage par l'emploi de *shunts* (un mot anglais que nous pouvons traduire par *dérivation*).

Le shunt consiste en une faible résistance qu'on introduit dans l'ampèremètre, par exemple entre les bornes $B^1 B^2$, de telle façon que le courant à mesurer se bifurque; une partie, la plus grande, passera dans le shunt, et l'autre dans les spires du cadre. De cette façon, par l'introduction de shunts de résistances convenables, un même ampèremètre gradué de 0 à 1 ampère permettra de lire de 0 à 10, 20 ou 30 ampères, etc., suivant que le shunt absorbe plus ou moins de courant, ne laissant passer dans le cadre que $1/10$, $1/20$, $1/30$ du courant total à mesurer.

Si par exemple dans l'ampèremètre de la fig. 42, dont le cadran est divisé de 0 à 1 ampère, on introduit un shunt qui ne laisse plus passer dans le cadre que $1/10$ du courant total, la division 0,1 du cadran correspondra à 1 ampère, la division 0, 2 à 2 ampères, 0,3 à 3 ampères etc... et la dernière division à 10 ampères.

On voit par là combien ces appareils sont avantageux, l'achat d'un shunt étant peu coûteux (quelques francs), en regard du prix généralement fort élevé de l'ampèremètre.

Pour l'horloger, un ampèremètre à shunt permettant de lire des intensités de 0 à 0,1 ampère, puis après introduction du shunt de 0 à 1 ampère, sera généralement suffisant. Ajoutons que l'aiguille a est ramenée au zéro du cadran par un faible ressort spiral (non représenté) fixé d'une part sur le pont P et de l'autre sur l'axe 0.

*
* *

Le voltmètre de la fig. 43 est construit sur un autre principe ; il comprend une bobine circulaire creuse *E* composée d'un grand nombre de tours de fil offrant une très grande résistance.

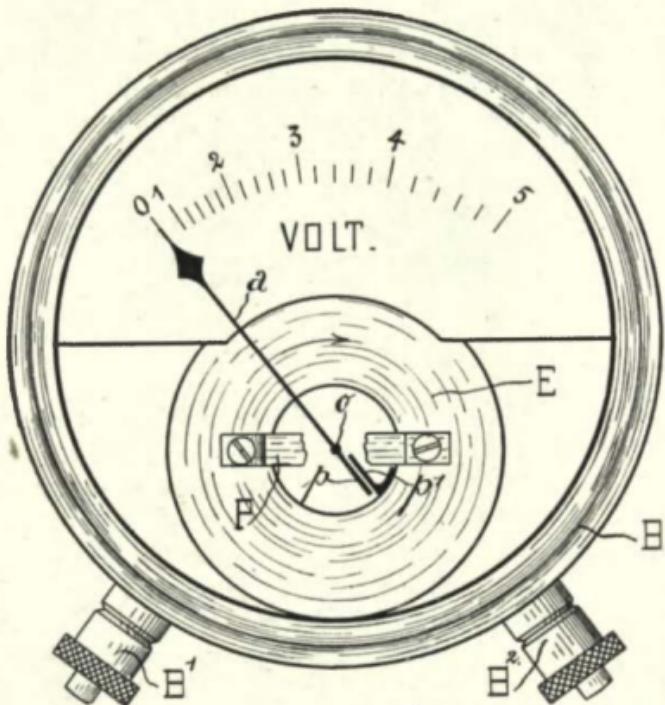


Fig. 43. — Voltmètre

Cette bobine est excentrée dans la boîte *B* de l'appareil et son fil est relié à chacune des bornes *B*¹ *B*².

La paroi intérieure de la bobine porte une petite palette en fer doux *p*¹ qui, l'appareil étant au repos, se trouve en face et très proche d'une autre palette *p*, également en fer doux, mais celle-là sur l'axe mobile *o* de l'aiguille *a*

du voltmètre. Cet axe pivote à l'intérieur de la bobine dans deux ponts dont le supérieur P seul est visible.

Supposons qu'un courant passe par les bornes $B^1 B^2$, de là dans le fil de la bobine E ; un flux plus ou moins intense prend naissance dans l'intérieur creux de la bobine; ce flux aimante les palettes ρ et ρ^1 et, comme toutes deux s'aimantent de même polarité, elles se repoussent, la palette ρ mobile s'éloigne de ρ^1 fixe et l'axe o pivote avec son aiguille a , qui s'arrête en regard des indications d'un cadran divisé en volts. Comme on le voit, ces divisions ne sont pas régulières par le fait que la force de répulsion qui éloigne les palettes n'augmente pas dans le même rapport que le courant qui parcourt la bobine.

Dès que le courant cesse, un faible ressort-spiral (non représenté) ramène l'aiguille au zéro du cadran.

*
* * *

Avant d'étudier le mode d'emploi des deux appareils que nous venons de décrire, il nous reste à dire quelques mots d'une troisième catégorie d'appareils, les rhéostats ou boîtes de résistances étalonnées.

Ces appareils comportent une série de résistances de valeurs bien déterminées, par exemple de 1, 2, 3, 4... ohms, et constituées par des enroulements de fils plus ou moins longs. Ces différentes résistances peuvent être reliées entre elles soit par un système de fiches mobiles, soit par la manœuvre d'un levier qui entre successivement en contact avec des touches fixes reliées aux résistances, de telle façon qu'il soit possible de les combiner à loisir.

Le rhéostat de la fig. 44 comporte deux séries de 10 touches séparées, les premières par des résistances $a\ a'\ a''\dots$, de 1 ohm chacune et les secondes par des résistances $b\ b'\ b''\dots$ de 10 ohms. Les touches de chaque série peuvent être mises en contact avec leur index mobile respectif T^1 et T^2 . La touche o de la première série est reliée à la borne

B^1 du rhéostat, l'index T^1 à la touche o de la seconde série et l'index T^2 à la deuxième borne B^2 . De cette façon le courant passant par les bornes B^1 B^2 traverse les résistances exprimées par la position des deux index. Dans la position représentée, cette résistance est de 74 ohms ; l'appareil permet d'établir à une unité près des résistances variant de 1 à 110 ohms.

Le rhéostat intercalé dans un circuit électrique permet de faire varier à volonté l'intensité du courant.

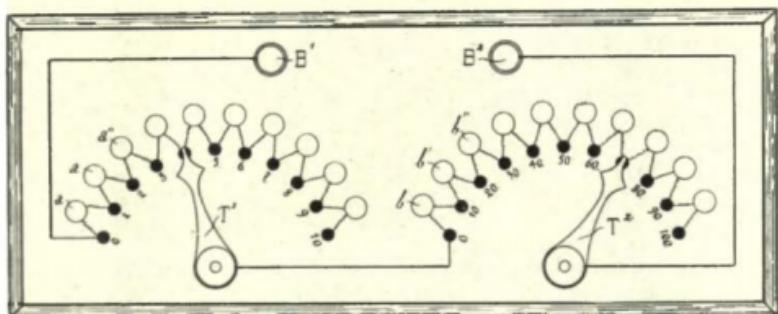


Fig. 44. — Rhéostat

Le rhéostat est de ce fait très utile pour déterminer, par exemple, l'intensité de courant nécessaire au bon fonctionnement d'une horloge. Ayant placé celle-ci dans un circuit électrique avec le rhéostat et un ampèremètre, on augmente ou diminue la résistance totale du circuit par la manœuvre des touches, diminuant ou augmentant successivement l'intensité du courant jusqu'à lire sur l'ampèremètre celle nécessaire pour produire l'effet voulu, dans de bonnes conditions.

Le rhéostat nous permettra également de mesurer des résistances par la méthode de substitution. Soit par exemple à déterminer la résistance d'une horloge électrique.

On placera celle-ci comme précédemment dans le circuit, mais avec l'ampèremètre seulement dont on note la déviation de l'aiguille ; on enlève ensuite l'horloge ; on lui sub-

titue le rhéostat, qu'on manœuvre jusqu'à obtenir la même indication de l'ampèremètre. Le nombre d'ohms exprimés par le rhéostat indique la résistance de notre horloge. Il est évident que, pour effectuer cette mesure avec quelque précision, il faut employer des éléments assez constants pour que leur débit puisse être supposé constant pendant les quelques minutes que dure l'opération.

Si nous avons reconnu lors de notre première mesure que le courant exigé par notre horloge était de 0,25 ampère et que sa résistance correspondait à 12 ohms, nous saurons que la différence de potentiel U nécessaire pour l'alimenter est en vertu de la loi d'ohm :

$$I = \frac{U}{R}, \text{ d'où l'on tire } U = RI = 12 \times 0,25 = 3 \text{ volts.}$$

Emploi du voltmètre et de l'ampèremètre

Le voltmètre et l'ampèremètre ne diffèrent que par la résistance qu'ils offrent au courant et par leur mode d'emploi. Le principe de ces deux appareils peut être exactement le même ; mais, tandis que la résistance d'un ampèremètre est négligeable, de quelques millières d'ohm seulement, le voltmètre, au contraire, est de grande résistance, de plusieurs milliers d'ohms par exemple. Ainsi, on transformera le voltmètre de la fig. 43 en ampèremètre en constituant simplement la bobine B par quelques tours très peu résistants de gros fil et en graduant le cadran en conséquence, d'après les indications d'un voltmètre-étalon. Réciproquement, l'ampèremètre de la fig. 42 se transformerait en voltmètre en augmentant considérablement la résistance du cadran mobile par l'emploi d'un fil de petit diamètre.

Voyons maintenant en quoi diffèrent les indications et le mode d'emploi de ces deux appareils.

L'ampèremètre se place directement dans le circuit dont on veut mesurer l'intensité fig. 45. Le courant tout entier le traverse. Comme il est très peu résistant et constitué par du fil de fort diamètre, il peut être laissé dans le circuit ; la quantité de courant qu'il absorbe est négligeable et l'échauffement n'est pas à craindre. La position de son aiguille indique constamment l'intensité de courant qui parcourt le circuit dans lequel il est intercalé.

L'ampèremètre s'intercale en *série*.

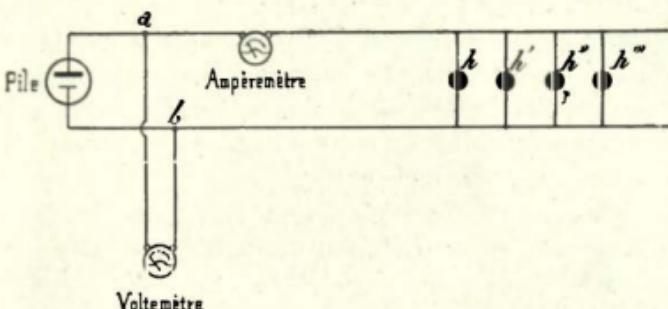


Fig. 45. — *Emploi du voltmètre et de l'ampèremètre*

Si les bornes d'un ampèremètre sont directement reliées aux bornes d'un élément de pile par des fils dont la résistance peut être considérée comme négligeable, l'élément se trouve en court circuit ; on pourra juger de sa capacité de débit, qui dépend surtout comme nous le savons de la grandeur de l'élément. Une telle mesure doit s'opérer très rapidement pour éviter l'usure inutile de la pile, qui est très grande dans ces conditions.

On fera bien aussi, avant d'effectuer une telle mesure, de s'assurer si le courant à mesurer ne dépassera pas par trop l'intensité maximum qu'on peut lire sur le cadran ; l'appareil pourrait en souffrir.

Le voltmètre s'emploie différemment ; il se place (fig. 45) en *dérivation* sur les points d'un circuit dont on veut déterminer la différence de potentiel. Ce n'est donc plus le courant tout entier qui le traverse, mais en raison de sa très

grande résistance seulement une infime partie qui dépend de la différence de potentiel exprimée en volts agissant aux points considérés. En effet, d'après la formule d'Ohm.

$$I = \frac{U}{R};$$
 nous voyons que R est ici la résistance du volt-

mètre qui ne varie pas. L'intensité I qui parcourt le voltmètre dépend donc seulement de la valeur de U , qui représente une différence de potentiel. Si donc notre voltmètre vient à être traversé par une intensité I qui prend successivement par exemple les valeurs 2, 3, 4, 5... c'est que la différence de potentiel aux points a et b a augmenté dans les mêmes proportions. Le voltmètre mesure donc en réalité des intensités de courant ; mais, comme ces intensités sont proportionnelles aux différences de potentiel, le cadran peut être divisé en volts.

La résistance du voltmètre doit être assez grande pour que le courant dérivé qu'il emprunte n'altère pas de façon sensible le courant principal alimentant les appareils h h' h'' h''' ...

Un interrupteur permet généralement de mettre l'appareil hors du circuit et de l'y introduire seulement au moment de la mesure ; cette précaution est nécessaire dans la plupart des voltmètres pour éviter d'abord l'échauffement du fil et ensuite une perte d'énergie très petite, il est vrai, mais inutile.

Ces quelques considérations sur l'ampèremètre et le voltmètre nous permettent de bien distinguer ces deux appareils ; nous pouvons résumer la différence en disant :

L'ampèremètre et le voltmètre mesurent en réalité des intensités ; mais, dans l'ampèremètre, c'est l'intensité totale du courant à mesurer qui agit sur l'aiguille, tandis que, dans le voltmètre, c'est une intensité dérivée qui agit, intensité dont la grandeur ne dépend que de la différence de potentiel qui la détermine, puisqu'elle s'exerce dans une résistance constante.

DEUXIÈME PARTIE

LES APPLICATIONS

Résistances de toutes valeurs

CAPACITÉ SHUNTEES
en une seule pièce

Condensateurs fixes
de toute capacité

Fabrication spéciale

Isolation parfaite

CLAIRETON

Fabrique d'Appareils
de mesure électrique de haute précision

Exportation en tous pays

Représentant général d'Elektrisk-Bureau OSL
Piles sèches HELLESENS, Copenhague

F. VOECELLI

Fabricant

Optingenstrasse, 53, BERNE (Suisse)

CHAPITRE VII

Généralités sur les horloges électriques

Les applications de l'électricité aux appareils à mesurer le Temps peuvent se diviser en deux grandes classes.

1^o *Les horloges électriques indépendantes*, qui englobent d'une façon générale tout mécanisme d'horlogerie dont la marche est entretenue par une source d'électricité agissant d'une façon intermittente sur le mécanisme d'horlogerie par l'intermédiaire d'un appareil électrique tel que l'électro-aimant, le solénoïde ou le moteur, le débit de la source sur l'appareil étant commandé par le mécanisme même de l'horloge. Dans cette classe rentre l'horloge destinée au « particulier ».

Cette horloge peut affecter toutes les formes imaginables, régulateur à cabinet, œil de bœuf, pendule de cheminée, horloge de parquet, etc. La pile, qui est la source utilisée, est généralement dissimulée dans le cabinet ou le socle.

Le principal avantage de ces horloges, lorsqu'elles sont bien construites et alimentées par une pile convenable, est qu'elles peuvent fonctionner plusieurs années sans entretien, ni remontage.

2^o *Systèmes d'unification de l'heure par l'électricité*. Parmi toutes sortes « d'unifications » qu'on cherche à introduire tant dans le domaine de la pratique que dans celui de la théorie, l'unification de l'heure dans une ville ou dans un pays tout entier est bien une des plus désirables. Rien de plus désagréable en effet pour les gens pressés que nous sommes tous aujourd'hui que de se trouver en présence d'aiguilles qui se contredisent.

L'électricité est l'agent par excellence qui pouvait réaliser le problème d'une façon pratique et sûre. Dans une installation bien faite les contradictions entre cadrans ou même les arrêts sont rares. Bénéficiant des expériences et des progrès réalisés dans ce domaine, d'importantes installations comprenant des centaines d'horloges se créent de toutes pièces un peu partout dans les villes qui marchent avec le progrès.

Si nous jetons un coup d'œil sur ce qui a été réalisé en Suisse, en pays neuchâtelois notamment, nous voyons que l'Observatoire de Neuchâtel transmet l'heure astronomique aux localités suivantes : Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds, Le Locle, Les Brenets, Les Ponts, Fleurier, Sainte-Croix, Le Sentier, Le Brassus, Biel, Saint-Imier et Berne. Chaque jour, vers 1 h. 1/2, l'usage des lignes télégraphiques de l'Etat est pour quelques minutes à la disposition de l'Observatoire, qui transmet à ces localités le signal de l'heure exacte.

Ces localités desservent à leur tour un réseau local d'horloges, de telle sorte que l'ensemble de l'installation comporte plus d'un millier de cadrans synchronisés.

Voilà pour l'Etat. Il reste à côté de lui les installations privées non moins importantes, hôtels, hôpitaux, fabriques, bureaux, etc... et aussi la maison moderne, qui voudra posséder à côté du chauffage central, de l'éclairage à tous les étages..., aussi l'heure unifiée.

*
* *

Les deux classes d'applications électriques que nous venons d'entrevoir comportent chacune plusieurs catégories d'appareils indiqués par le tableau ci-dessous et dont suivent les définitions.

Horloges électriques indé- pendantes.	{	<i>Horloges à remontage automatique.</i>
		<i>Horloges à réactions directes.</i>
		<i>Horloges à réactions indirectes.</i>

Systèmes d'unification de l'heure par l'électricité.	<i>Horloges-mères.</i> <i>Horloges réceptrices.</i> <i>Horloges à détente électrique.</i> <i>Horloges à remise à l'heure.</i> <i>Horloges synchronisées.</i>
--	--

Première classe
Horloges électriques indépendantes

Horloges à remontage automatique. — Cette catégorie d'horloges comprend tout un mécanisme d'horlogerie, à poids ou à ressort, dont le remontage, au lieu de s'opérer à la main, s'opère électriquement à des intervalles généralement très rapprochés.

Voici d'une façon générale le parallèle qu'on peut établir entre l'horloge mécanique et la même horloge transformée avec remontage électrique.

Horloge mécanique	Horloge électrique
Poids moteur de plusieurs kilogrammes ou fort ressort.	Poids moteur de quelques grammes ou faible ressort.
Grands efforts sur le rouage et les pivots.	Petits efforts.
Rouage habituel.	Rouage réduit.
Remontage à la main tous les six jours.	Remontage automatique toutes les minutes, ou demi-heures, ou heures.
Dans le cas du ressort, grandes variations de l'effort moteur.	Effort très constant, le poids ou le ressort agissant par petits efforts souvent répétés.

Horloges à réactions directes. — L'action électrique s'opère directement sur l'organe régulateur, pendule ou balancier, sans intermédiaire mécanique.

Horloges à réactions indirectes. — L'action électrique s'opère indirectement sur le pendule ou le balancier, l'in-

termédiaire mécanique sera par exemple un léger poids ou un faible ressort qui, soulevé ou armé par le dispositif électrique, communique une impulsion à l'organe régulateur.

Seconde classe

Systèmes d'unification de l'heure par l'électricité

Horloges-mères. — Dans un système d'unification de l'heure par l'électricité, l'horloge-mère est l'horloge qui distribue le courant qui actionne les autres horloges. L'horloge-mère, aussi appelée horloge centrale, horloge directrice, horloge primaire, etc... est généralement un régulateur de précision dont un des mobiles commande un ou plusieurs interrupteurs de courant qui correspondent chacun à un groupe d'horloges.

Horloges réceptrices. — Ces horloges, actionnées par le courant distribué par l'horloge-mère, ne comportent, le plus souvent, qu'une simple minuterie mise en mouvement par un dispositif électrique quelconque, électro-aimant, moteur...

Les horloges réceptrices enregistrent à distance les indications de l'horloge-mère ; on les désigne aussi sous le nom d'horloges secondaires, compteurs électrochronométriques.

Horloges à détente électrique. — L'horloge comprend un rouage avec poids ou ressort. L'échappement mécanique est supprimé et remplacé par un mécanisme d'arrêt du rouage commandé électriquement.

Dès qu'un courant est lancé par l'horloge-mère, le mécanisme d'arrêt libère momentanément le rouage et les aiguilles avancent d'une certaine quantité. Cette application de l'électricité présente de sérieux avantages pour l'actionnement par exemple des horloges de clocher. Outre l'économie résultant de la suppression de l'échappement, on peut vaincre aisément les difficultés rencontrées quand

il s'agit de manœuvrer de lourdes aiguilles. On pourra choisir l'effort moteur aussi grand qu'on le voudra ; l'électricité n'a plus comme but que d'en régulariser la dépense.

Horloges à remise à l'heure. — Il s'agit d'horloges à poids ou à ressorts, balancier ou pendule ; l'électricité a pour mission de les remettre à l'heure, de corriger leur marche par l'intermédiaire d'une horloge-mère, à des intervalles de temps plus ou moins grands.

Horloges synchronisées. — On dit de deux ou de plusieurs horloges qu'elles sont synchronisées quand les mouvements de leurs organes régulateurs respectifs, plus particulièrement leurs pendules, sont constamment dépendants les uns des autres. On peut considérer la synchronisation comme une remise à l'heure qui s'exerce à de très petits intervalles, toutes les secondes ou demi-secondes par exemple.

Applications de l'électro-aimant aux mécanismes d'horlogerie

Nous ne décrivons, dans ces quelques exemples, que la partie qui intéresse l'électro-aimant, sans nous occuper du dispositif ouvrant et fermant le circuit électrique.

On trouvera cependant, à la fin de ce chapitre, la description d'un de ces dispositifs, lequel nous a paru pouvoir être cité comme exemple typique.

Horloge à remontage automatique

Vve David Perret fils.

Description. — L'électro-aimant (fig. 46) comporte deux bobines *e* et leurs noyaux (une seule bobine est visible sur la figure). L'armature mobile *a* pivote sur l'axe *p* et agit par un levier articulé *l* terminé par une goupille *g* sur les dents de la roue *R* qui commande un mécanisme d'horlogerie (rouage, échappement, balancier). Un ressort *r*, qu'on peut armer à volonté au moyen de la vis *v*, a pour effet, en agissant sur l'armature *a*, de mouvoir la roue *R* dans le sens de la flèche.

Fonctionnement. — Toutes les minutes, un courant électrique passe dans les bobines *e*. A ce moment, l'armature *a*, violemment attirée, soulève le levier articulé *l* ainsi que

sa goupille *g* qui remonte d'une dent sur la roue *R*. On voit que par ce mouvement le ressort *r* a été armé d'une certaine quantité. Le courant cesse ; l'armature et son levier n'étant plus soumis qu'à l'action du ressort *r*, la roue *R* tourne lentement sous cet effort ; l'armature *a* s'éloigne des noyaux jusqu'au prochain passage de courant, qui la ramènera dans sa position initiale et fera remonter la goupille *g* d'une nouvelle dent. Toutes les minutes se répètent les mêmes fonctions.

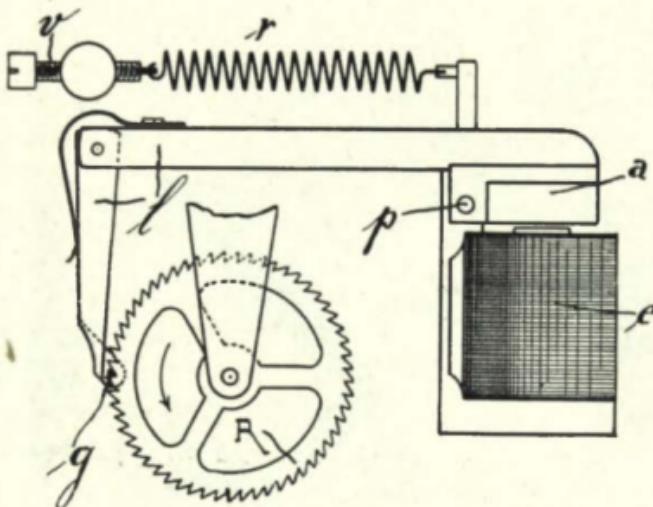


Fig. 46

De même que, dans les pendules à poids, un dispositif à ressort entretient la marche du mouvement pendant le remontage du poids, ici ce ressort continue l'effort moteur de la roue *R* pendant le temps très court, quelques centièmes de seconde, que dure le mouvement ascendant de la goupille *g* sous l'action du courant.

Horloge à remontage automatique « Normal-Zeit »

Description. — L'électro-aimant (fig. 47) composé d'un noyau et de sa bobine *e* est fixe ; le noyau est muni d'une semelle circulaire *s*. L'armature mobile *a* pivote sur l'axe *p* ; elle est pourvue d'une seconde semelle circulaire *s'* concentrique et très proche de la première ; son extrémité

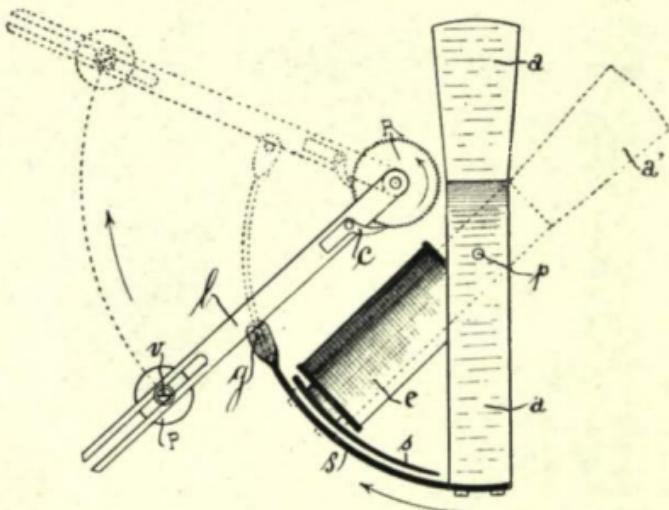


Fig. 47

porte une goupille *g* sur laquelle vient appuyer un bras *l*, pivotant sur l'axe de la roue *R* qu'il commande par le cliquet *c*. Le poids *P* peut être déplacé dans une ouverture du bras *l* et rendu fixe par la vis *v*. Il est aisément de comprendre que le poids *P*, suivant son éloignement de la roue *R*, exercera sur celle-ci un effort de rotation plus ou moins puissant dans le sens de la flèche. La roue *R* commande un mécanisme d'horlogerie.

Fonctionnement. — Le levier *l* et son cliquet *c* étant dans

la position pointillée, la roue R tourne dans le sens de la flèche sous l'effort du poids P . Le levier l descend jusque dans la position représentée en traits pleins. A ce moment, un mécanisme spécial ferme le courant d'une pile sur l'électro-aimant e dont la semelle s attire rapidement l'armature mobile a par la semelle s' jusque dans la position pointillée a' . Dans ce mouvement, la semelle s' souleve le levier l par la goupille g et le ramène dans la position initiale pointillée. Le même jeu recommence après chaque course du poids P , c'est-à-dire à peu près toutes les dix minutes.

Horloge réceptrice Vve David Perret fils

Description. — L'électro-aimant droit E est placé entre deux bâts de fer en forme d'**U**, dont sur la fig. 48 un seul côté B est visible. Entre ces deux bâts est libre sur l'axe o une armature A qui passe très proche du noyau n de l'électro-aimant.

Sur l'axe o est fixé un rochet denté R immobilisé par deux cliquets c^1 c^2 dont le premier c^1 pivote sur le bâti B , tandis que l'autre c^2 pivote sur l'extrémité du bras B^2 solidaire de l'armature A . Le mouvement du bras B^2 , donc aussi celui de son cliquet c^2 , est limité par la vis v^2 . L'armature porte encore un autre bras B^1 sur lequel est fixée une vis v^1 qui limite également la course de l'armature en venant buter contre une assise du cliquet c^1 . Un ressort r , agissant sur l'extrémité du bras B^2 , tend à maintenir tout le système dans la position représentée, le cliquet c^2 appuyant sur la vis v^2 .

Fonctionnement. — Au moment où l'horloge-mère envoie un courant dans le fil $a\ b$ de l'électro-aimant, l'extrémité n du noyau s'aimante Sud par exemple, l'autre s'aimante

Nord et communique son aimantation aux deux branches du bâti *B* dont le flux acquis passe sur l'armature *A* et tend à rentrer dans le noyau par son extrémité *n*. L'ensemble du bâti et de l'armature constitue une sorte d'électro-aimant cuirassé ; l'armature *A* est attirée et opère un petit mouvement de rotation dans le sens de la flèche. Le

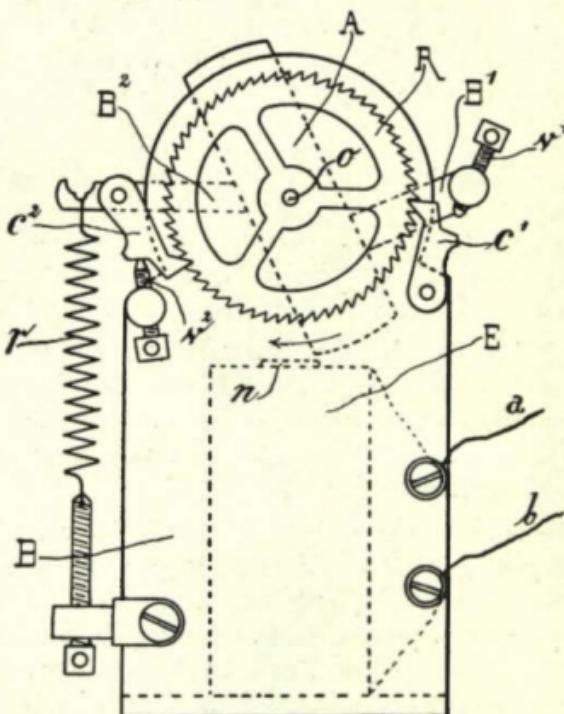


Fig. 48

cliquet *c*² remonte d'une dent sur la roue *R* et la vis *v*¹ vient appuyer sur le cliquet *c*¹ qui immobilise la roue. L'armature reste dans cette position aussi longtemps que dure le courant ; dès qu'il cesse, le ressort *r* la ramène dans sa position première en entraînant par son cliquet *c*² la roue *R* qui a de ce fait opéré un mouvement de rotation correspondant à la valeur angulaire d'une dent. Ce

mouvement est communiqué par l'axe *o* à une minuterie disposée derrière le bâti *B*. La roue *R* ayant 60 dents et le courant passant toutes les minutes, elle exécute un tour complet en 1 heure. (*Voir adjonction, page 175.*)

Horloge réceptrice A. Favarger et C^{ie}

à Neuchâtel

Description. — Le mécanisme que nous décrivons est celui d'une de ces horloges établies par milliers de spécimens dans les nombreuses villes suisses et étrangères possédant l'unification de l'heure par l'électricité. C'est en particulier ce système qui est établi depuis longtemps à La Chaux-de-Fonds, où il fonctionne normalement.

Le mécanisme comporte (fig. 49) un électro-aimant *e* à deux noyaux *I* et *II* entre lesquels est mobile une armature *a* à deux becs *S¹* et *S²*. Cette armature pivote ; ses déplacements sont limités par les deux arrêts *r* fixés sur les noyaux *I* et *II* contre lesquels viennent buter les goupilles *g*, une fois sur l'arrêt de droite, une fois sur l'arrêt de gauche.

L'armature *a*, en fer doux, est polarisée par un des pôles d'un aimant permanent (non représenté sur la figure) avec lequel elle est constamment en contact. Nous supposerons que l'armature *a* avec ses deux becs est constamment aimantée Sud. Les becs *S¹* et *S²* sont de forme telle que leurs talons forment avec les noyaux un entrefer aussi réduit que possible (dans la position représentée, entrefer du bec *S¹* et du noyau *II*). L'entrefer formé par l'extrémité des becs est beaucoup plus grand (bec *S¹* et noyau *I*). De cette façon, l'effet maximum du flux et l'électro-aimant se fera d'abord sentir entre le bec *S²* et le noyau *II* pour

diminuer au fur et à mesure que l'entrefer croît quand l'armature oscille de droite à gauche.

Entre le noyau I et le bec S^1 au contraire, l'action d'abord minimum augmente jusqu'à ce que la goupille g appuie sur l'arrêt r , position où l'entrefer devient minimum. Le

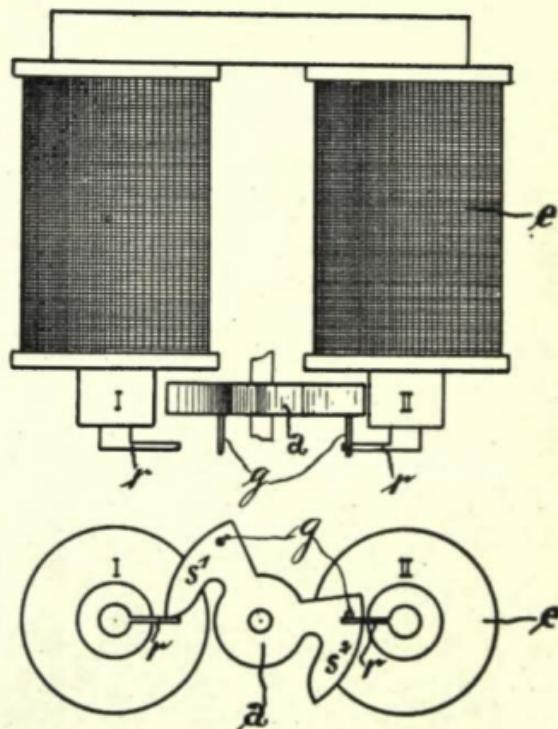


Fig. 49

mouvement alternatif de l'armature est transmis aux aiguilles par l'intermédiaire d'une minuterie en relation avec une roue d'échappement sur laquelle agissent soit deux palettes (échappement à roue de rencontre) soit une ancre de forme appropriée solidaire de l'armature a .

Fonctionnement. — Supposons que le courant qui part à cette minute de l'horloge-mère aimante *Nord* le noyau I et *Sud* le noyau II. Les pôles de noms contraires s'attirant, le pôle I attire le bec S^1 tandis que le pôle II repousse (pôles de mêmes noms) le bec voisin S^2 . Ces deux actions combinées du flux magnétique sur celui de l'armature la font osciller de droite à gauche. A la prochaine minute, l'armature devra osciller en sens contraire (de gauche à droite) et, pour faire ceci, il faut nécessairement que le courant dans les bobines change de sens, pour avoir, cette fois-ci, au pôle I une aimantation *Sud* qui repoussera S^1 et au pôle II une aimantation *Nord* qui attirera S^1 .

Le courant est donc *alterné*.

Supposons que pour une cause fortuite quelconque, un orage par exemple, un courant perturbateur dû à l'électricité atmosphérique vienne à passer dans les bobines. Suivant le sens de ce courant par rapport au courant régulier qui vient de passer, ou l'armature restera immobile, ou elle oscillera. Dans le premier cas, l'effet est nul ; dans le second, il y a perturbation ; mais, comme le prochain courant régulier sera précisément de même sens que le courant irrégulier, l'armature restera en place et annulera l'erreur ; *dans les deux cas l'horloge n'aura pas été dérangée*.

Cet avantage des horloges secondaires marchant à courant alternatif est d'une importance capitale : on peut même dire que le *courant alterné* est nécessaire toutes les fois qu'il s'agit d'une installation importante, notamment celle d'un réseau de ville où, en plus des orages, les tramways électriques, comme aussi le voisinage de courants à hautes tensions, peuvent à l'occasion produire des courants parasites dans les bobines.

*Horloges réceptrices A. Favarger et Co
à Neuchâtel*

Description. — L'électro-aimant *e* (fig. 50) est à deux noyaux I et II sur lesquels sont vissées deux pièces terminées par des becs *b*¹ et *b*² présentant chacun une pointe et un plan incliné. L'armature mobile *a* est un disque en fer doux de 30 dents. Les pointes et plans inclinés des becs *b*¹ et *b*², par rapport aux dents de l'armature *a*, sont tels que lorsqu'une pointe de dent de la roue se trouve vis-à-vis de la pointe d'un des becs, — dans la figure, *b*¹ et dent 16 (entrefer minimum), — l'autre bec *b*² se trouve entre deux dents (entrefer maximum). De cette façon, à chaque fraction de tour du disque *a* correspondant à un avancement d'une demi-dent se trouveront en présence, une fois à droite, une fois à gauche, la pointe d'une dent et la pointe d'un des becs.

Un aimant permanent *M* est fixé par un de ses pôles à la culasse de l'électro-aimant, tandis que l'autre *d* est recourbé au-dessus de l'armature *a* comme le fait voir la coupe partielle dessinée au-dessus du noyau I.

Si nous supposons que le pôle fixé à la culasse est *Nord*, le flux magnétique de l'aimant *M* se partagera pour aimanter *Nord* chacun des noyaux de l'électro-aimant dont le flux se rendra par les becs *b*¹ et *b*² sur l'armature *a* pour rentrer dans l'aimant *M* par son extrémité *Sud* recourbée en *d*.

Aucun courant ne circulant dans les bobines, le flux de l'aimant sera beaucoup plus puissant entre la dent 16 et le bec *b*¹ où l'entrefer est minimum qu'entre la dent 1 et le bec *b*² où l'entrefer est maximum. L'armature *a* sera donc maintenue dans cette position. Si du doigt nous forçons le disque à tourner dans le sens de la flèche, nous aurons à vaincre une certaine résistance jusqu'au moment où la pointe de la dent 1 sera vis-à-vis de la pointe du bec

b². L'entrefer maximum cette fois-ci se trouve entre le bec b¹ et le flanc de la dent 17. L'armature a tendra donc à rester dans cette nouvelle position. Le même phénomène se répète tantôt sur le bec de droite, tantôt sur celui de gauche, de sorte que, si nous continuons à agir sur le disque, nous aurons pour un tour complet 60 résistances à vaincre.

Le flux de l'aimant M distribué sur les becs et l'armature de l'électro-aimant établit donc un lien magnétique qui force l'armature à prendre toujours des positions bien déterminées, différant toutes entre elles d'une demi-dent.

On supprime de cette façon tout encliquetage mécanique.

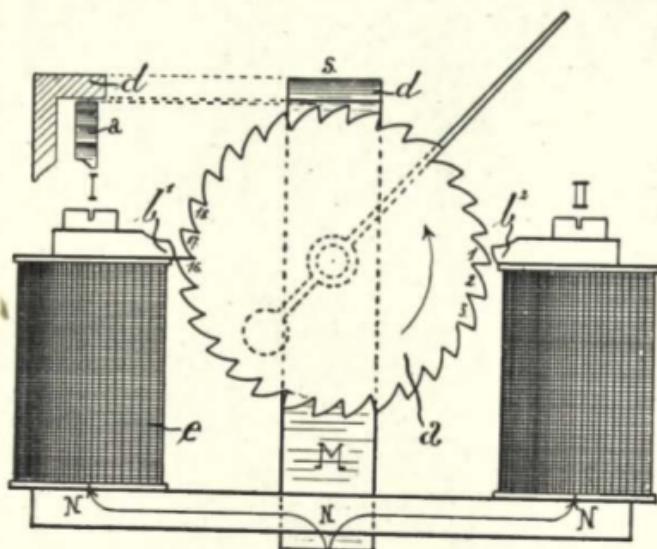


Fig. 50

Fonctionnement. — Le courant de l'horloge-mère passant dans l'électro-aimant, l'aimantation provoquée dans les noyaux se superpose à celle de l'aimant permanent M ; le courant étant alternatif, il en résulte comme nous allons le voir un mouvement continu de l'armature dans le sens de la flèche.

Supposons que le courant qui passe à cette seconde

aimante *Sud* le noyau I et *Nord* le noyau II. Le noyau I étant aimanté *Nord* par l'aimant et *Sud* par le courant de sa bobine, les flux se contrarient et l'attraction entre le bec *b¹* et la dent *16* devient extrêmement faible.

Par contre, le noyau II est aimanté *Nord* par l'aimant et par le courant ; il en résulte un flux intense dans le bec *b²* qui fait tourner l'armature d'une demi-dent, jusqu'à ce que l'entrefer soit minimum, c'est-à-dire que la pointe de la dent *1* soit vis-à-vis de la pointe du bec *b²*. Pendant ce mouvement, l'entrefer est devenu maximum entre le bec *b¹* et le flanc de la dent *17* ; son action sur la dent *16* est donc nul ; par contre, il a contribué à l'effort du bec *b²* en attirant la dent *17* qui est maintenant polarisée *Nord*. Nous nous souvenons en effet que là où le flux *entre* est un pôle *Sud* (dent *1*), là où il *sourt* un pôle *Nord* (dent *17*).

A la prochaine émission de courant, les pôles seront renversés ; les mêmes phénomènes se reproduiront, provoquant un nouvel avancement d'une demi-dent dans le sens de la flèche. L'armature fera ainsi un tour pour 60 émissions de courant.

Ce mécanisme réduit au minimum possible les organes d'une horloge secondaire. Suivant la fréquence du courant venant de l'horloge-mère, l'aiguille fixée directement sur l'axe de l'armature marquera les secondes ou les minutes. Ce dispositif s'applique très bien aux compteurs électro-chronométriques par exemple.

L'armature n'étant soumise qu'à des influences magnétiques, les chocs, les frottements et l'usure sont supprimés. Ce système appliqué à des horloges devant fonctionner dans des chambres à coucher, dans les hôtels, hôpitaux etc., a l'avantage très recherché d'être absolument silencieux.

On peut construire exactement sur le même principe d'autres horloges secondaires dont l'armature a 10,5 ou même 3 dents.

Nous représentons (fig. 51) une de ces horloges à 5 dents. La forme seule des pôles et des dents a changé ; le fonctionnement est le même.

Il est évident que, suivant le nombre de dents, le mouvement de l'armature est transmis par un rouage approprié aux aiguilles d'heures et minutes. Cette disposition de la fig. 51 est employée de préférence pour de grands cadrans. Les aiguilles étant dans ce cas plus longues et plus lourdes, il y a intérêt à ne pas leur faire subir un mouvement trop brutal et rapide.

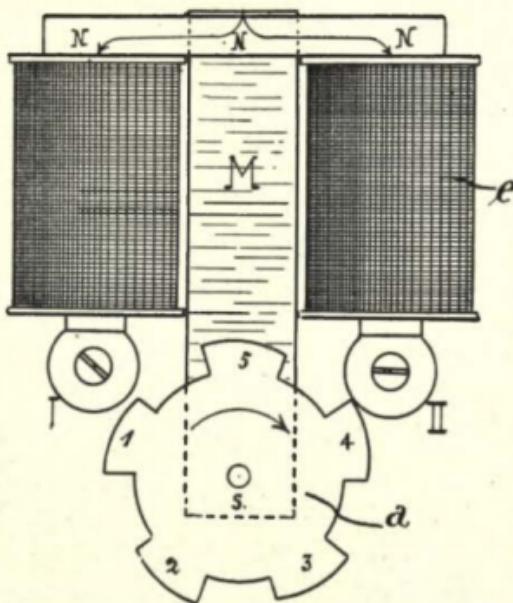


Fig. 51

Horloge réceptrice Th. Wagner (système Grau)

Description. — L'électro-aimant *e* (fig. 52) est à deux noyaux I et II. L'armature mobile est composée de deux pièces solidaires en fer doux a^1 et a^2 disposées en croix et séparées par une bague en laiton *b* visible dans la seconde vue du mécanisme. L'armature et sa bague pivotent sur

l'axe portant le pignon P qui engrène avec la roue R en relation avec les aiguilles d'heures et minutes.

Chacune des branches de l'aimant en fer à cheval M aimante constamment par contact les pièces a^1 et a^2 . Nous supposerons que a^1 est toujours aimantée Nord et a^2 Sud.

Les noyaux I et II supprimés dans la seconde vue pour plus de simplicité sont de largeur telle qu'ils recouvrent totalement l'armature a^1-a^2 .

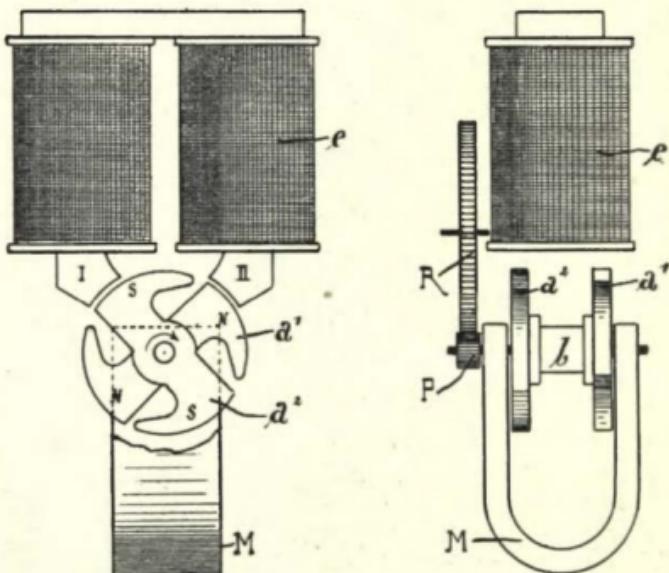


Fig. 52

Fonctionnement. — Toutes les minutes, un courant venant de l'horloge-mère passe dans les bobines e .

Supposons que, maintenant, ce courant aimante Sud le noyau I et Nord le noyau II. Le bec Sud de a^2 voisin du noyau I sera repoussé par celui-ci et attiré par le noyau II, tandis que le bec Nord de a^1 voisin du noyau I sera attiré par le noyau I, l'autre, au contraire, repoussé par le noyau II. Ces quatre effets combinés du flux magnétique

tique de l'électro et de l'armature ont pour résultat une rotation d'un quart de tour, dans le sens de la flèche.

Nous voyons facilement qu'à la prochaine minute le courant de l'horloge-mère devra être de sens contraire pour opérer un nouveau quart de tour dans le sens de la flèche.

Dans cette horloge aussi, la position de l'armature est bien déterminée et se passe d'un encliquetage mécanique. En effet, aucun courant ne circulant dans les bobines, l'armature s'immobilisera toujours dans la position où les entrefer sont le plus réduits (position de la figure). Le flux *Nord* de a^1 entre par le noyau II qui s'aimante *Sud* (donc attraction), de là traverse la culasse, ressort par le noyau I qu'il aimante *Nord* pour enfin rentrer dans l'armature par le bec *Sud* de a^2 (encore attraction). En faisant faire un tour complet à l'armature, on sentira fort bien une résistance à vaincre en quatre endroits équidistants.

Nous avons dit, de ces différents systèmes d'horloges secondaires, qu'elles se passent fort bien de tout encliquetage mécanique. Cependant la majorité des constructeurs par mesure de prudence les munissent d'un organe très simple qui agit concurremment avec le *lien magnétique* en vue de bien fixer la position de l'armature et d'empêcher tout mouvement rétrograde accidentel.

Sonnerie électrique système Max Möller

Description. — Nous citerons comme dernier exemple l'application d'un électro-aimant à une sonnerie d'horloge.

Le mécanisme (fig. 53) est des plus simples ; le marteau *m* pivote sur l'axe de l'armature mobile *a* en fer doux. Un ressort l'éloigne constamment du timbre ou de la cloche de l'horloge (non représentés).

Les extrémités de l'armature *a* se meuvent concentriquement (avec le plus petit entrefer possible) en regard des entailles circulaires des noyaux *N* à *S* de l'électro-aimant *e*.

Sur l'un des mobiles du rouage de sonnerie est calé un doigt *d* qui, à chaque tour qu'il effectue, entre en contact avec un ressort *r*. Le doigt *d* et le ressort *r* sont reliés de part et d'autre au fil qui passe par la pile et les bobines de l'électro-aimant *e*.

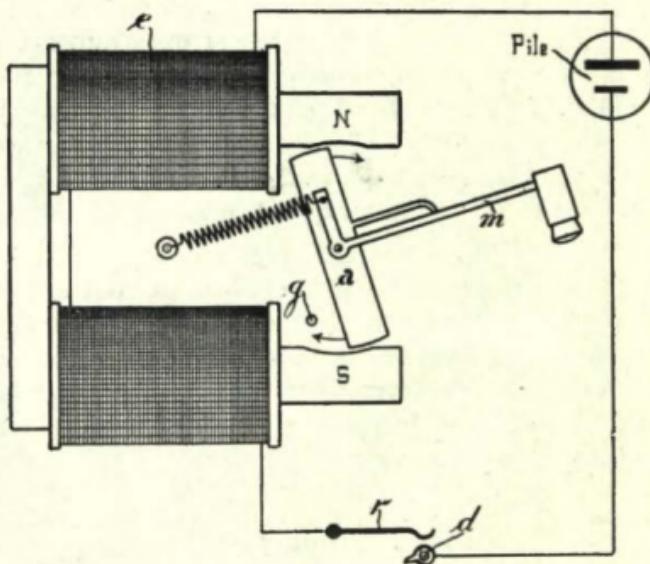


Fig. 53

Fonctionnement. — A chaque contact du doigt *d* et du ressort *r* un courant passe dans les bobines ; le flux magnétique des noyaux *N* à *S* agit sur chacune des extrémités de l'armature *a* qu'il fait mouvoir brusquement dans le sens des flèches jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par la goupille *g*. Elle entraîne dans ce mouvement le marteau *m* qui, sous l'impulsion reçue, parcourt un chemin légèrement plus grand que celui de l'armature et frappe le timbre.

Sitôt après, le ressort ramène armature et marteau dans leur position de départ.

La qualité du choc ainsi obtenu ne laisse rien à désirer.

Horloge à remontage automatique système Schweizer modifiée

L'horloge représentée par la fig. 54 comprend un électro-aimant *e* qui attire à lui l'extrémité *a* d'une armature pivotant sur l'axe *o* et soumise à l'effort du ressort *r*.

L'extrémité *a'* de cette armature porte, pivoté sur elle, un levier-cliquet *d* qu'un ressort *r'* tend constamment à faire pénétrer dans la denture d'un rochet *h* soumis d'autre part à l'action d'un cliquet *c*.

Le rochet *h* est muni d'une goupille *u* qui peut venir agir sur une tige-ressort *v* portée par l'axe d'une roue dentée *i* qui commande le mécanisme d'horlogerie de la pendule.

L'extrémité *a'* de l'armature porte encore une tringle *b*, laquelle, par l'intermédiaire d'une manivelle, peut faire subir un mouvement de rotation à deux disques *k* et *l* montés sur un axe commun. Le premier de ces disques (*k*) est isolé de la masse par un canon d'ébonite ou toute autre matière isolante et porte les goupilles *1*, *2* et *3*. Le second disque (*l*) est fixé directement sur l'axe et fait donc partie de la masse ou ensemble métallique de l'horloge.

Dans le champ d'action des goupilles *1*, *2* et *3* sont disposés, à angle droit, deux ressorts isolés *m* et *n*, dont le premier (*m*) est relié à l'un des pôles de la pile, dans la figure au —. Du pôle + part un fil enroulé sur les noyaux de l'électro-aimant, puis soudé à la masse *M* de l'horloge. Le disque *l* qui fait partie de la masse est donc relié électriquement avec le pôle + de la pile. Le circuit électrique sera donc fermé et l'électro-aimant actionné dès que le ressort *m* viendra en contact avec le disque *l*. Dans la

position représentée, il en est empêché par le ressort *n* qui le tient éloigné du disque par l'épaulement *g*.

Le fonctionnement de l'horloge est le suivant.

Sous l'action du ressort *r* et par l'intermédiaire du levier-cliquet *d*, l'extrémité *a'* de l'armature fait tourner le rochet *h* dans le sens de la flèche. La goupille *u* arme

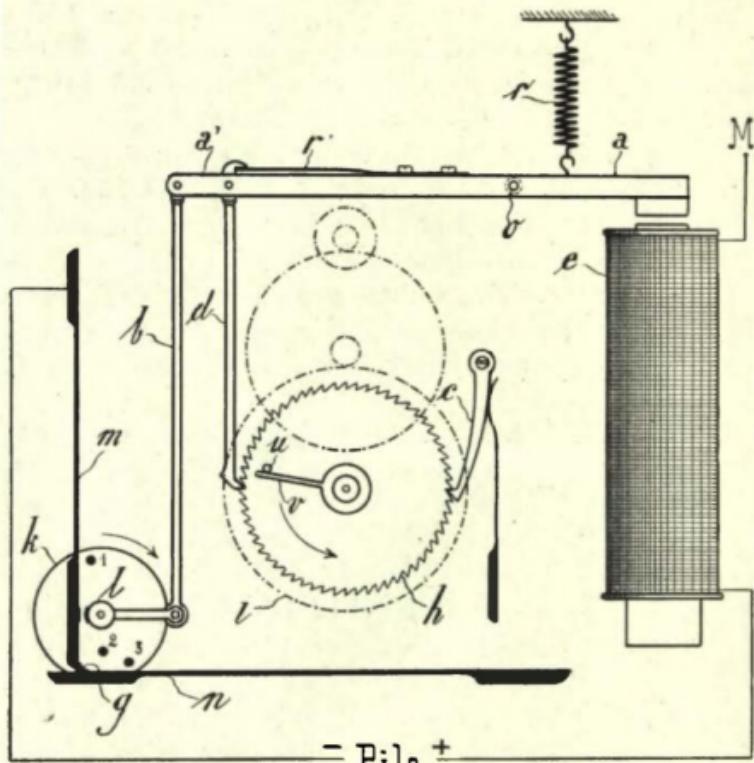


Fig. 54

la tige-ressort *v* et entraîne la roue *i* qui actionne le mécanisme d'horlogerie. Le rochet *h* tourne donc lentement et en même temps que lui les disques *k* et *l* actionnés par la tringle *b*.

Il arrivera un moment (position I, fig. 55) où, les disques

tournant dans le sens de la flèche, la goupille 3 vient éloigner le ressort *n* jusqu'à ce que l'épaulement *g* cessant de maintenir le ressort *m* celui-ci tombe sur le disque *l* fermant le circuit de la pile. A ce moment, les noyaux de l'électro-aimant attirent brusquement l'extrémité *a* de l'armature, le levier-cliquet *d* remonte également et fait occuper aux disques la position II par laquelle la goupille 3 ayant abandonné le ressort *n* et la goupille *l* éloignant le ressort *m*, celui-ci vient recrocher sur l'épaulement *g*. Le circuit est ainsi rompu et le ressort *r* étant armé d'une certaine quantité continue à actionner les roues *i* et disques *k* et *l* dans le sens des flèches jusqu'à ce que la goupille 3, amenée

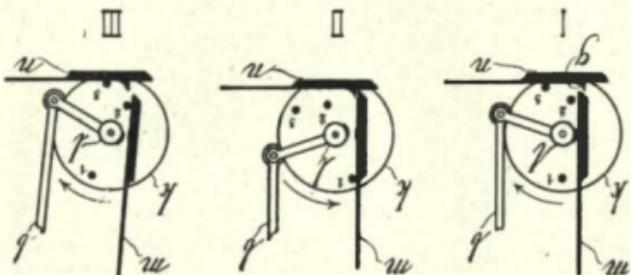


Fig. 55

dans la position I, provoque un second contact et un nouvel armage du ressort *r*. Le but de la tige-ressort *v* est d'entretenir l'effort moteur sur la roue *i* pendant l'instant très court qu'emploie le levier-cliquet *d* à remonter sur la denture du rochet. Comme celui-ci ne peut revenir en arrière puisqu'il est immobilisé par le cliquet *c*, c'est la quantité d'énergie emmagasinée par le bandage de la tige-ressort *v* qui continue l'effort dans le sens de la flèche.

Nous savons que la différence de potentiel utilisable aux bornes d'une pile diminue avec le temps ; il pourra donc arriver que, la pendule ayant marché pendant une année par exemple, cette différence de potentiel se trouve assez diminuée pour qu'elle ne suffise plus à attirer l'extrémité

a de l'armature. Dans ce cas, le ressort *m* resterait appuyé sur le disque *l* et, pour peu que l'horloge reste dans cette situation un jour ou deux avant qu'on ne cherche à la remettre en état de marcher, toute l'énergie encore disponible de la pile s'épuiserait en pure perte.

Ce grave défaut peut être évité par la goupille *z*. Dans le cas d'une différence de potentiel insuffisante, l'armature n'ayant pas été attirée, le disque continuerait son mouvement et la goupille *z* viendrait occuper la position III, c'est-à-dire éloignerait le ressort *m* du disque *l* mettant ainsi la pile en circuit ouvert pendant l'arrêt de la pendule.

Cette horloge, telle que nous venons de la décrire, est une modification de la pendule système Schweizer qui eut quelque vogue lors de l'Exposition internationale d'électricité à Paris en 1881.

A son origine, l'organe moteur était non pas un ressort mais un poids qu'on pouvait déplacer à volonté sur l'extrémité *a'* de l'armature, de façon à pouvoir varier au besoin l'effort moteur. La présence de ce poids n'était pas sans inconvénient. Tout d'abord, de par son inertie, un poids, pour être déplacé, nécessite un effort modéré et soutenu pendant un certain temps. L'attraction exercée par un électro-aimant sur son armature ne présente pas précisément un effort de ce genre mais bien au contraire une action brusque et instantanée, d'où chocs et ébranlements préjudiciables pour tout le mécanisme de l'horloge et en particulier l'organe régulateur. Le ressort supprime ces inconvénients. L'horloge, au début, n'était pas non plus munie de la goupille *z* dont nous avons expliqué le rôle important.

Ces divers perfectionnements ont été apportés par M. Ch. Poncet et nous ne doutons pas que cette horloge, ainsi heureusement modifiée, ne réapparaisse sur le marché avec toutes les chances de succès qu'elle mérite.

CHAPITRE VIII

Applications de l'électro - aimant et du solénoïde au pendule

Pendule Hipp

Entretenir les oscillations du pendule en utilisant les propriétés attractives et répulsives de pièces aimantées est une idée qui devait nécessairement germer rapidement dans les esprits inventifs qui connurent les premiers l'électro-aimant.

Voici comment le problème fut résolu pour la première fois par l'électricien anglais Bain, en 1840.

Un pendule *P* suspendu en *S* (fig. 56) porte à son extrémité inférieure, au-dessous de la lentille *L*, une armature *A* en fer doux. Lors des oscillations du pendule, cette armature passe très près d'un des noyaux de l'électro-aimant *E* dont les fils *a* et *b* sont reliés à la pile et à un mécanisme interrupteur qui ouvre et ferme le circuit en utilisant pour cela le mouvement même du pendule. L'électro-aimant excité au moment voulu attire l'armature et entretient de la sorte les oscillations.

L'idée paraît fort simple, sa réalisation pratique aussi ; la difficulté rencontrée par les constructeurs fut dans l'obtention d'oscillations isochrones (de même durée) du pendule.

Nous savons la pile une machine sur la constance de laquelle il est prudent de ne pas trop échafauder. Or cette inconstance, défaut bénin dans d'autres horloges électri-

ques, devient ici une sérieuse difficulté au point de vue réglage. Une variation de débit de la pile correspond à une variation de flux dans l'électro-aimant, d'où efforts variables sur l'armature et irrégularités de marche du pendule.

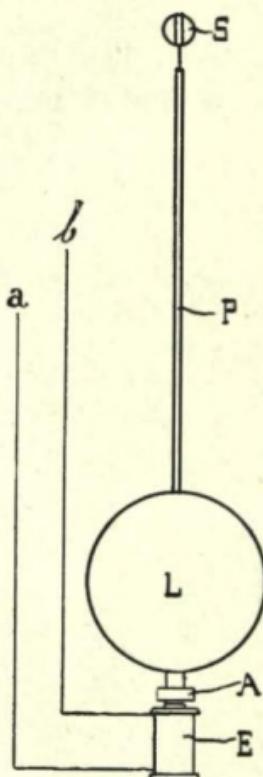


Fig. 56. — Application de l'électro-aimant au pendule

Les inventeurs ont orienté leurs recherches du côté de cette difficulté et, aujourd'hui, la chronométrie peut encore attendre dans ce domaine des applications électriques au pendule des perfectionnements qui lui feront faire un pas en avant — quoique les « pas en avant » soient choses déjà fort difficiles à réaliser quand il s'agit de dépasser l'extrême précision des horloges astronomiques modernes.

La première de ces horloges que nous examinerons est celle de Hipp, dont l'échappement électrique est des plus ingénieux, mais reste délicat.

La fig. 57 montre une de ces horloges installée depuis quelques années par la maison A. Favarger et C^e dans le sous-sol de l'École d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds. Son aspect général ne rappelle en rien celui des horloges auxquelles nous sommes accoutumés ; le visiteur non initié sera plutôt tenté d'y voir quelque horloge mystérieuse.

On n'y trouve aucun rouage, ni échappement habituel, poids, cadran ou aiguilles ; seul un pendule d'environ un mètre de longueur et supportant des organes inconnus oscille dans une cage cylindrique en verre, à l'extrémité supérieure de laquelle émergent des fils conducteurs chargés de communiquer la précision de ce mouvement oscillatoire à des compteurs installés ailleurs, dans le bâtiment de l'École.

La cage en verre est fixée sur bâti en maçonnerie de la forme d'une pierre tombale qui repose sur le roc, comme cela se fait dans les observatoires, afin d'éviter au pendule les trépidations ou affaissements accidentels du bâtiment.

Le pendule lui-même comporte une masse cylindrique en zinc qui fait office de lentille. Cette masse est reliée à une traverse métallique que soutiennent deux tiges parallèles en invar entre lesquelles sont placés deux organes essentiels, l'échappement électrique et l'électro-aimant moteur.

Près de la suspension à ressort se trouve l'appareil à contacts qui distribue à chaque oscillation, c'est-à-dire toutes les secondes, le courant électrique qui actionne le ou les compteurs.

Examinons successivement chacun de ces trois organes.

Le pendule dont les deux tiges en invar *I* et la traverse métallique *T* sont seuls représentés fig. 58 est suspendu par le ressort *r* (lame flexible) à la pièce fixe *S*.

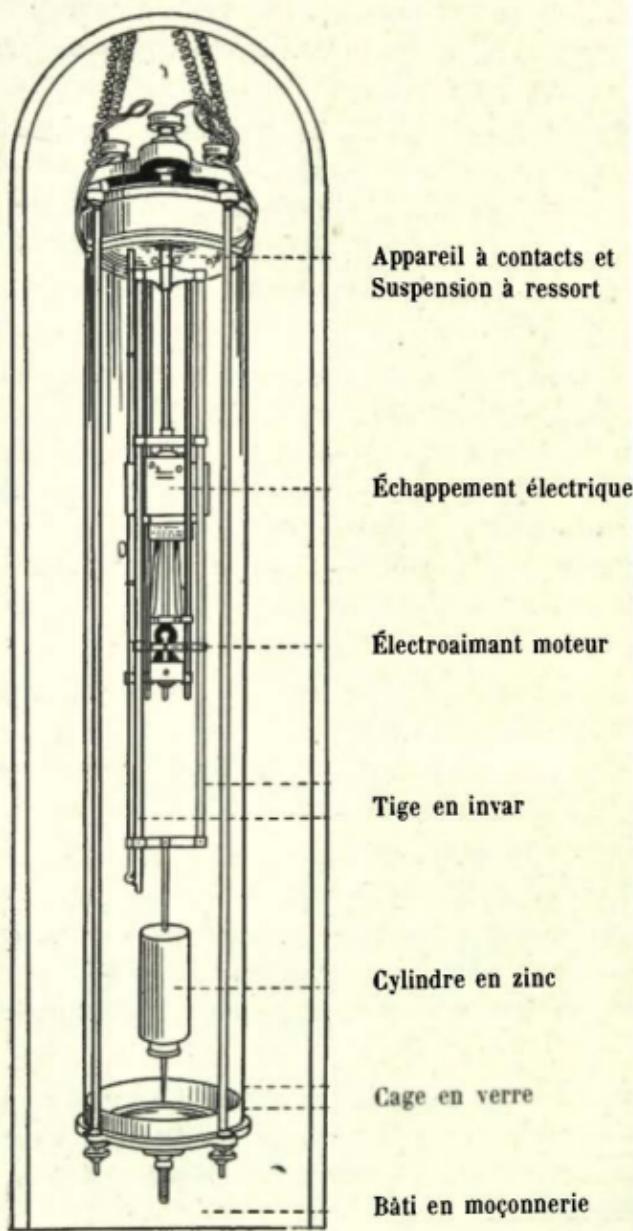


Fig. 57. — Horloge électrique d'observatoire

Deux bras coudés a^1 a^2 sont fixés de part et d'autre du ressort r et participent au mouvement du pendule. Dans leur mouvement, ils entrent alternativement en contact

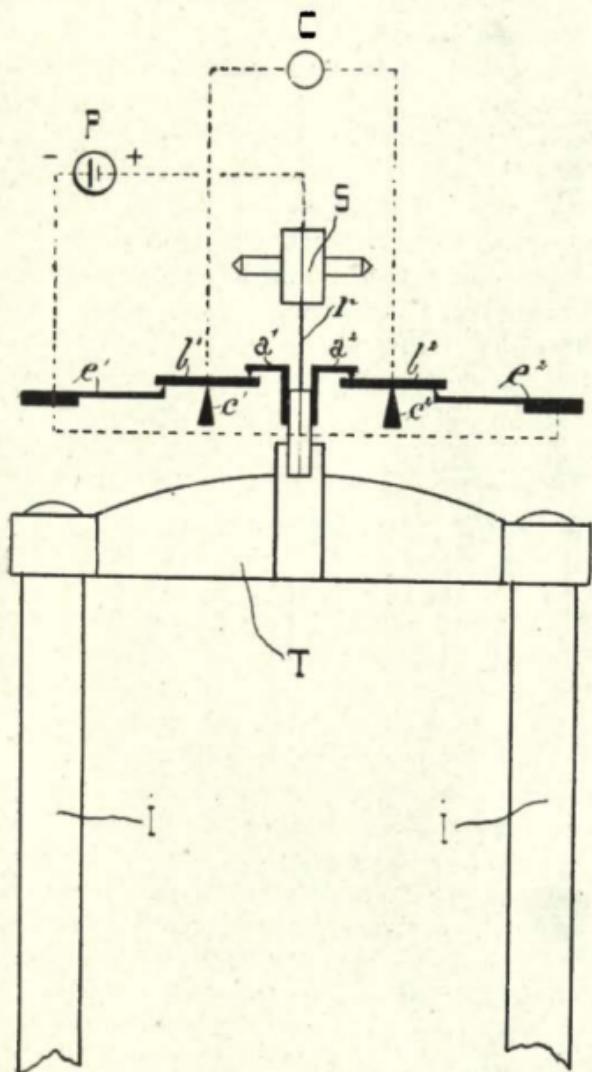


Fig. 58. — Appareil à contacts

avec les leviers b^1 b^2 qui oscillent sur les couteaux c^1 c^2 et au repos appuient sur les extrémités des ressorts à lamelles e^1 e^2 reliés au pôle — de la pile P , tandis que le pôle + communique avec la pièce fixe S , le ressort r et les leviers a^1 a^2 .

Le circuit électrique (lignes pointillées) travaille de la façon suivante.

Le pendule oscillant à droite, a^2 quitte b^2 , tandis que a^1 soulève b^1 qui s'éloigne de e^1 . Le courant de la pile traverse le circuit. *Pile + S r a¹ b¹ compteur C b² e² e¹ Pile.* — Lorsqu'il s'incline à gauche, c'est a^1 qui s'éloigne de b^1 et a^2 qui soulevant b^2 rompt le contact entre b^2 c^2 .

Le courant passe alors dans le circuit *Pile + S r a² b² compteur C b¹ e¹ Pile* —.

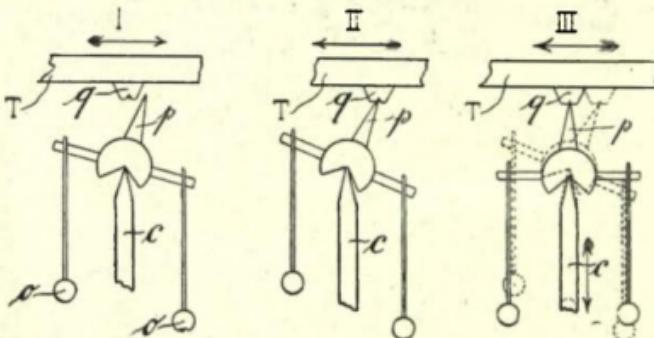


Fig. 59. — *Echappement électrique*

Ce courant est de sens inverse au premier, ce qui est une condition nécessaire pour actionner le compteur dont les armatures polarisées exigent le courant alterné.

L'appareil à contacts que nous venons de décrire n'a rien à voir avec le fonctionnement du pendule ; il n'a comme fonction que celle d'enregistrer les oscillations en ouvrant et fermant le circuit de la pile P affectée au seul usage des compteurs.

L'énergie empruntée au mouvement du pendule par l'appareil à contacts doit être aussi réduite et régulière

que possible, afin de n'entraver en rien la marche du pendule par l'introduction dans son mouvement de résistances parasites variables.

L'échappement électrique de Hipp (fig. 59), représenté ici dans trois positions, se compose d'une palette *p* oscillant sur un couteau *c* indépendant du pendule, donc ne participant pas à son mouvement.

Deux petits contrepoids *o* ont pour effet de maintenir la palette penchée soit à droite, soit à gauche, au moment du passage de la contre-palette encochée *q* fixée sur une des traverses *T* du pendule. La contre-palette *q* dans son mouvement fait pencher la palette à droite ou à gauche, sans aucun effet, aussi longtemps que les oscillations du pendule sont assez grandes pour que l'extrémité de la palette échappe de l'encoche de la contre-palette. L'amplitude des oscillations diminuant, il arrive un moment où la palette n'ayant pas échappé vient coincer dans l'encoche au retour de l'oscillation (position II et position III pointillée). De ce fait la contre-palette pour passer fait subir au couteau *c* un mouvement de haut en bas et amène ainsi palette et couteau dans la position III dessinée en traits pleins. Ce mouvement du couteau est utilisé pour fermer le circuit d'une pile sur l'*électro-aimant moteur E* (fig. 60).

Cet électro-aimant est fixe. A chaque oscillation du pendule une armature en fer doux *a*, fixée sur une des traverses *T* unissant les tiges *I* du pendule, vient passer très proche de ses noyaux *n*.

L'échappement électrique est réglé de façon que le contact opéré par le couteau *c* (fig. 59) se fasse au moment où l'armature s'approche des noyaux. L'armature étant alors attirée par ceux-ci, le pendule reçoit une impulsion qui augmente l'amplitude de ses oscillations jusqu'au moment où, diminuant de plus en plus, un coincement se produise à nouveau entre la palette et la contre-palette déterminant un contact et une impulsion.

L'horloge que nous venons de décrire fonctionne avec

trois petites piles Meidinger qui demandent à être renouvelées environ tous les six mois.

Lorsque les piles sont neuves, les impulsions étant

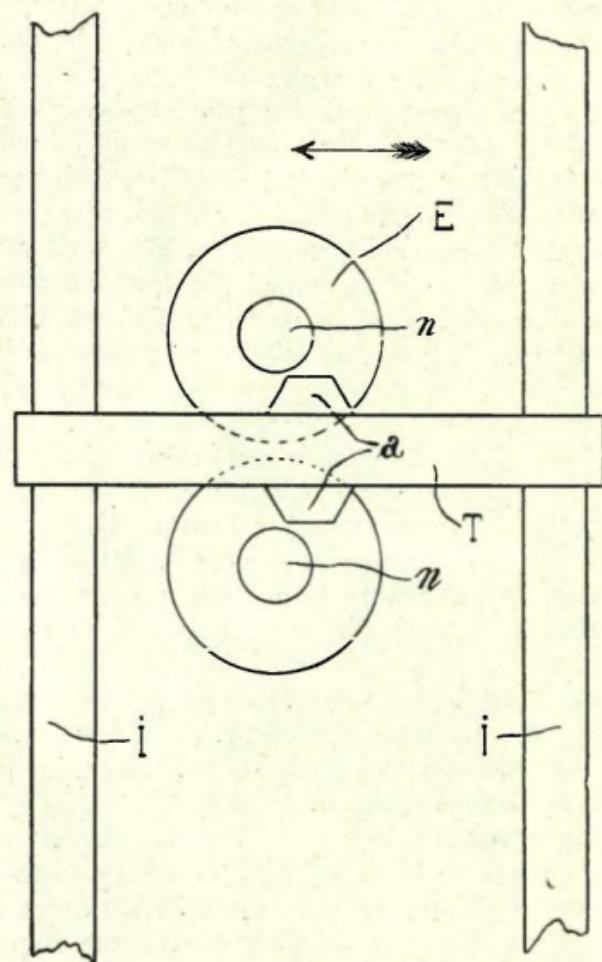


Fig. 60. *Electro-aimant moteur*

relativement fortes, l'horloge demande un courant toutes les 50 à 60 secondes ; au fur et à mesure que les piles s'épuisent, les impulsions diminuant d'énergie, les contacts

deviennent plus fréquents. Au moment où nous avons visité cette horloge, l'échappement électrique fonctionnait toutes les 32 secondes et le courant qui passait dans les électro-aimants était de 0,014 ampère.

Les variations de marche d'une telle horloge se comparent par quelques centièmes de seconde seulement par jour.

On peut remarquer à la partie inférieure de la garniture en métal qui encercle le cylindre de verre (fig. 57) un tuyau par lequel on opère le vide partiel à l'intérieur de la cage, afin de soustraire le pendule aux perturbations dues à la pression atmosphérique variable de l'air environnant. Cette opération ne serait pas permise dans un appareil purement mécanique où l'huile nécessaire au bon fonctionnement des organes se verrait rapidement desséchée et de ce fait rendue plutôt nuisible qu'utile. Ici, dans l'échappement électrique, les frottements sont négligeables ; on en peut dire autant des autres organes examinés et l'horloge fonctionne sans aucun lubrifiant.

Pendule à frein automatique système Favarger

Le fonctionnement de ce pendule comme aussi son réglage sont purement électriques.

Ceux qui savent par expérience combien il est difficile de corriger la marche d'une pendule de précision au moyen de l'écrou divisé ou par l'addition ou l'enlèvement de petites masses accélératrices, sans la perturber du même coup par les chocs, torsions, introduction de poussières, de courants d'air froids ou chauds, etc., qui sont la conséquence inévitable de l'opération, apprécieront l'avantage présenté par le système que nous allons décrire et dans lequel cette opération peut s'effectuer sans rien toucher au pendule et sans ouvrir le cabinet ou la cloche qui le contient.

L'horloge de M. Favarger comporte un pendule *P* fig. 61, suspendu en *S* ; l'aimant permanent *e* entre et sort alter-

nativement dans une bobine B . Un dispositif particulier, dont nous parlons plus loin, lance aux moments voulus dans le fil isolé $r^1 r^2$ de cette bobine des courants électriques qui créent dans son intérieur creux des lignes de forces

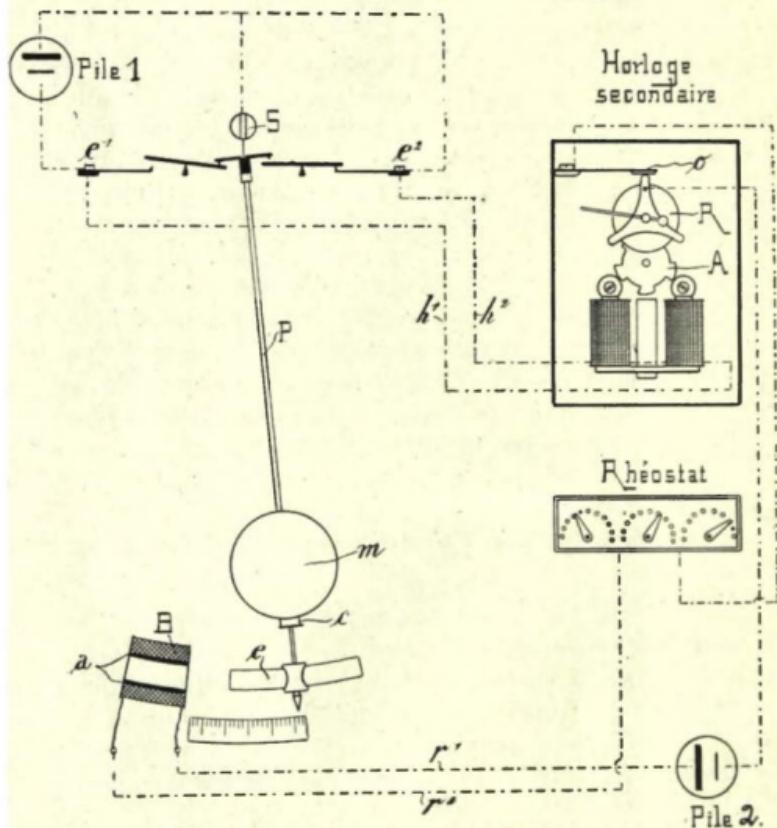


Fig. 61. — Pendule de précision à frein électromagnétique Système Favarger

magnétiques toutes parallèles et de même sens, lesquelles, attirant ou repoussant l'extrémité de l'aimant au moment où celle-ci se rapproche ou s'éloigne de la bobine, ont pour

effet de donner à l'aimant, et par suite au balancier qui le porte, des impulsions qui entretiennent son mouvement oscillatoire.

Près de la suspension *S* ou en tout autre endroit propice du balancier se trouve l'appareil à contacts déjà étudié, qui ferme et ouvre alternativement le circuit de la pile 1 sur l'électro-aimant d'une horloge secondaire dont l'armature *A* bat ainsi à distance d'accord avec le balancier. Les mouvements réguliers de cette armature sont employés à faire tourner une roue dentée *R* dont l'axe peut être muni d'une aiguille parcourant en une minute, par exemple, un cadran divisé, et d'un pignon denté actionnant un train d'engrenages et d'axes à aiguilles de minute et d'heure.

La roue *R* ferme, une ou plusieurs fois par tour (ici trois fois par tour), un contact électrique *o* dans le circuit duquel se trouvent la pile 2, un rhéostat et enfin la bobine *B* dont il a été parlé plus haut.

L'appareil à contacts du pendule actionnant l'électro-aimant de l'horloge secondaire et son armature *A*, de même que le contact *o*, sont disposés et réglés de telle façon que le courant électrique de la pile 2 soit lancé dans la bobine *B* aux bons moments, c'est-à-dire alors que l'action magnétique de la bobine sur l'aimant agit dans le sens du mouvement du balancier et non pas en sens inverse. Il faut de plus que le sens du courant de la pile 2, le sens d'enroulement du fil de la bobine *B* et enfin la polarité de l'aimant *e* soient tels qu'ils concourent au même résultat qui est d'aider l'oscillation et non pas de la contrarier.

L'énergie nécessaire pour entretenir les mouvements oscillatoires d'un balancier aussi libre que celui qui vient d'être décrit est extrêmement petite. Dans le système ici exposé, cette énergie peut être transmise au balancier ou bien à chaque oscillation ou bien toutes les 2, 4, 6, 8, etc., oscillations.

Si la restitution d'énergie a lieu à intervalles rapprochés, toutes les oscillations par exemple, la puissance du courant à lancer dans la bobine *B* est infime. Cette puissance est

2, 3, 4, etc. fois plus grande, si les impulsions électromagnétiques sont 2 3, 4, etc. fois plus rares.

Le rhéostat gradué en ohms permet de faire varier à volonté cette puissance et de la proportionner ainsi une fois pour toutes à la fréquence que l'on a adoptée pour les impulsions.

Le choix de cette fréquence n'est lui-même pas indifférent. Des impulsions trop souvent renouvelées mettent le balancier sous la dépendance trop immédiate de la force motrice et de ses variations éventuelles. Il est vrai que ces variations, surtout avec une pile constante, sont pour ainsi dire nulles, grâce au très faible débit demandé à la pile (une fraction de milli-ampère).

Lorsqu'on réalise une telle horloge et qu'on étudie sa marche, on constate que le pendule n'oscille pas avec une amplitude constante toujours égale à elle-même. Cette amplitude varie périodiquement d'un certain maximum à un certain minimum et inversement de ce minimum à ce maximum, variations qui correspondent à des écarts de marche.

M. Favarger a remédié à cet inconvénient en appliquant à son balancier un régulateur spécial dont le fonctionnement présente une certaine analogie avec celui des régulateurs de vitesses des machines motrices, à vapeur, à eau ou à gaz, mais qui agit avec une précision infiniment plus grande. Il consiste en un simple tuyau de métal *a* bon conducteur de l'électricité (cuivre, argent, laiton, etc.) placé à l'intérieur de la bobine *B* et dans lequel le mouvement oscillatoire de l'aimant permanent *e* provoque, comme nous l'avons vu, la circulation de courants de Foucault qui s'opposent magnétiquement au mouvement de l'aimant et qui sont d'autant plus intenses et plus contrariants que la vitesse de cet aimant est plus grande.

Ce tuyau constitue ainsi un frein électro-magnétique puissant qui agit comme un régulateur des oscillations et a pour effet de rendre constante leur amplitude.

Le frein électro-magnétique absorbe à lui seul une

certaine énergie ; il faut en conséquence augmenter la force du courant dans une proportion correspondante ; ceci s'obtient en diminuant la résistance du rhéostat, ce qui augmente du même coup l'intensité du courant de la pile 2 passant dans la bobine. Le rhéostat permet en outre de donner au balancier une amplitude déterminée que l'on peut choisir à volonté plus ou moins grande.

Pour une position donnée de la masse oscillante b du pendule (obtenue au moyen de l'écrou divisé c), on peut faire varier au moyen du rhéostat l'amplitude de l'oscillation et par suite la marche du balancier en 24 heures.

Si par exemple le balancier a été réglé d'abord par l'écrou c et ensuite au moyen du rhéostat de telle manière que, pour une amplitude de deux degrés d'arc, sa marche en 24 heures soit égale à 0,01 seconde, on pourra, sans toucher à l'écrou c ni à aucun autre organe du balancier proprement dit, ni en général à aucun organe quelconque du système autre que le rhéostat, faire avancer ou retarder le balancier d'une fraction de seconde et même de plus d'une seconde en 24 heures, uniquement en augmentant ou en diminuant la résistance du rhéostat. De même si, au bout d'une série de comparaisons comprenant un nombre quelconque de jours de 24 heures, on constate que le balancier avance ou tarde d'une manière continue, de 0,03 sec. par exemple en 24 heures, on pourra corriger cet écart journalier d'un seul coup et instantanément, simplement en intercalant ou en désintercalant au rhéostat le nombre d'ohms qui correspond à cette variation de 0,03 sec. Dans le pendule construit par M. Favarger, la résistance qui correspondait à une avance ou un retard de 0,10 sec. en 24 heures était de 10 ohms à retrancher ou à ajouter au rhéostat.

Ce nombre d'ohms n'est pas le même, cela va de soi, pour deux systèmes dont les balanciers, où la fréquence des contacts o , où la disposition de l'électro-aimant et de son armature A , où la force de la pile 2, où le choix de l'amplitude, etc., ne sont pas absolument identiques ;

mais, pour un système donné dans lequel ces divers facteurs sont invariables, on peut déterminer très exactement, à une fraction d'unité près, le nombre d'ohms correspondant à telle variation de marche, par conséquent régler l'horloge par simple déplacement des manettes du rhéostat, intercalant ou désintercalant la résistance correspondant à la variation.

L'horloge que nous venons de décrire est intéressante à plus d'un point de vue ; par son fonctionnement d'abord et son réglage obtenus par des procédés purement électriques, ensuite par la réalisation d'un pendule qui oscille aussi librement qu'on peut le souhaiter. La seule action mécanique qui lui incombe est de soulever alternativement les leviers de l'appareil à contact. A part cet effort négligeable, le pendule n'est donc soumis qu'à l'action du flux de la bobine et à l'effet amortisseur du tuyau frein. Comme ces actions se produisent toutes les secondes ou toutes les deux secondes, on pense bien que dans ces conditions les forces mises en jeu à chaque oscillation doivent être extrêmement petites. Un tel pendule ne demande en effet, pour entretenir ses oscillations, qu'un effort tangentiel de 0,37 gramme toutes les deux secondes pendant 0,8 sec.

M. Favarger a bien voulu nous communiquer les calculs qui établissent ce résultat ainsi que différents autres chiffres intéressants.

Voici ces calculs.

La pendule, parfaitement réglée avec le tuyau-frein et observée pendant plusieurs journées consécutives, présente les caractéristiques suivantes :

Nombre de contacts par minute : 30 (toutes les deux secondes une impulsion).

Amplitude d'oscillation à l'extrémité du pendule (à l'aimant) : $2^{\circ} 35'$, soit 47 millim. en longueur d'arc.

Source de courant : pile 2, type Leclanché, admis à 1,2 volt.

Résistance intercalée au rhéostat de réglage : 1732 ohms.

Résistance de la bobine : 200 ohms.

Total des résistances du circuit parcouru par le courant : 1932 ohms.

$$\text{Intensité du courant : } I = \frac{E}{R} = \frac{1,2}{1932} = 0,0006 \text{ ampère}$$

Wattage du courant¹ : $0,0006 \times 1,2$ volt = 0,00072 watt.

Travail du courant par émission (en se rappelant que la durée de l'émission est de 0,8 sec., soit celle d'une oscillation du pendule (1 seconde) moins le temps du mouvement de l'armature de l'horloge secondaire à contacts, temps évalué à 0,2 sec.) :

$$0,00072 \text{ watt} \times 0,8 \text{ sec.} = 0,000576 \text{ joule}$$

ou : $0,000576 \times 0,102 = 0,00005875$ kilogramme-mètres
ou encore 5,875 gramme-centimètre.

De l'équation du travail mécanique :

$$T = \text{force } F \times \text{déplacement } l$$

$$\text{on tire : } F = \frac{T}{l}$$

Or ici l est égal à 47mm. $\times 0,8$, puisque le courant n'agit

1. Rappelons que la *puissance* d'un débit électrique se mesure en faisant le produit des volts par les ampères et que ce produit prend le nom de *Watts*.

Une pile de 1,2 volt de force électromotrice et qui débite 2 ampères, a une puissance de

$$1,2 \text{ volt} \times 2 \text{ ampères} = 2,4 \text{ watts.}$$

Cette puissance peut s'exercer pendant un certain temps, 8 secondes par exemple, elle produit alors un *travail* égal à

$$2,4 \text{ watts} \times 8 \text{ secondes} = 19,2 \text{ wattsecondes ou joules.}$$

Le *joule* est donc l'unité de *travail* électrique ; cette unité équivaut à 0,102 kilogramme-mètres.

Le kilogramme-mètre représente le travail nécessaire pour éléver un poids de 1 kilogramme à une hauteur de 1 mètre ; 1 joule représente donc le travail nécessaire pour soulever 102 grammes à la même hauteur.

que pendant les 0,8 d'une oscillation simple complète. On a donc :

$$F = \frac{T}{l} = \frac{5,875}{4,7 \times 0,8} = 1,56 \text{ gramme.}$$

Telle est la force tirant tangentiellement l'aimant du pendule pendant que le courant passe et que le frein électromagnétique est en fonction.

Or le frein lui-même absorbe la plus grande partie de cette force. Il est intéressant de calculer de combien est cette partie. Pour cela on a enlevé le tuyau-frein. On a constaté que l'amplitude du pendule passait rapidement à $2^{\circ}75'$; en même temps le pendule se mettait à avancer de 271 secondes en 15 heures, soit de 18,07 sec. par heure ou 0,3 sec. par minute ou 0,005 sec. par seconde.

On a alors intercalé au rhéostat une résistance telle que l'amplitude du pendule redevienne celle de $2^{\circ}35' = 47$ mm. qui existait auparavant, le tuyau-frein étant en place.

Cette résistance s'est trouvée être de 6500 ohms. On a constaté qu'à cette amplitude et avec cette résistance supplémentaire de 6500 ohms, la marche de la pendule était de nouveau à peu de chose près redevenue égale à 0. Calculons la force tangentielle F' correspondante.

On a :

$$\text{Intensité : } I = \frac{E}{R} = \frac{1,2}{1932 + 6500} = \frac{1,2}{8432} = 0,000142 \text{ amp.}$$

$$\text{Wattage} = 0,000142 \times 1,2 = 0,0001704 \text{ watt.}$$

$$\text{Travail} = 0,0001704 \times 0,8 = 0,00013632 \text{ joule.}$$

$$\text{on encore } 0,00013632 \times 0,102 = 0,00001390464 \text{ kilog.-mét.}$$

$$\text{ou enfin } 1,390464 \text{ gramme-centimètre}$$

$$\text{d'où : Force } F' = \frac{1,3900}{4,7 \times 0,8} = 0,37 \text{ gr.}$$

donc : Force avec frein : 1,56 gr.

Force sans frein : 0,37 gr.

La différence, soit 1,19 gr., est la partie de la force totale de 1,56 gr. qui est absorbée par le frein et convertie en chaleur.

Il résulte de là qu'un tel pendule n'ayant que les contacts à secondes inverses à actionner (et la résistance de l'air à vaincre) n'absorbe que 0,37 gr. à chaque double seconde pendant 0,8 sec.

Pendule électro-magnétique de M. Baumann

Dans les applications examinées jusqu'ici, l'électro-aimant moteur agissait au-dessous du point de suspension du pendule, soit à peu près à la moitié de la longueur totale, soit à son extrémité inférieure.

Dans l'horloge que nous examinons ici et dont les organes sont dessinés dans deux positions différentes, l'effort qui entretient les oscillations du pendule *P* (fig. 62) s'exerce au-dessus du point de suspension, par l'électro-aimant à deux bobines *E* agissant sur l'armature *a* fixée sur le prolongement des lames de suspension.

La suspension *S* comporte un couteau prismatique reposant par une de ses arêtes sur une gouttière de forme appropriée. La culasse *c* de l'électro-aimant affecte une forme spéciale en vue d'assurer une position médiane stable de l'armature *a* entre les deux noyaux des bobines *E*.

Un des pôles de la pile est relié aux vis fixes *e¹* *e²* sur lesquelles appuient au repos les ressorts *r¹* *r²* reliés électriquement aux bobines *E*. L'autre pôle de la pile communique avec la tige du pendule sur lequel est fixée une traverse métallique dont les vis *d*, *d₂* viennent, lors des oscillations, soulever alternativement les ressorts *r₁* *r₂*. Le courant de la pile est ainsi fermé tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre sur les bobines *E* dont le flux des noyaux agit sur l'armature *a*. Cet effort se transmet au pendule *P* par

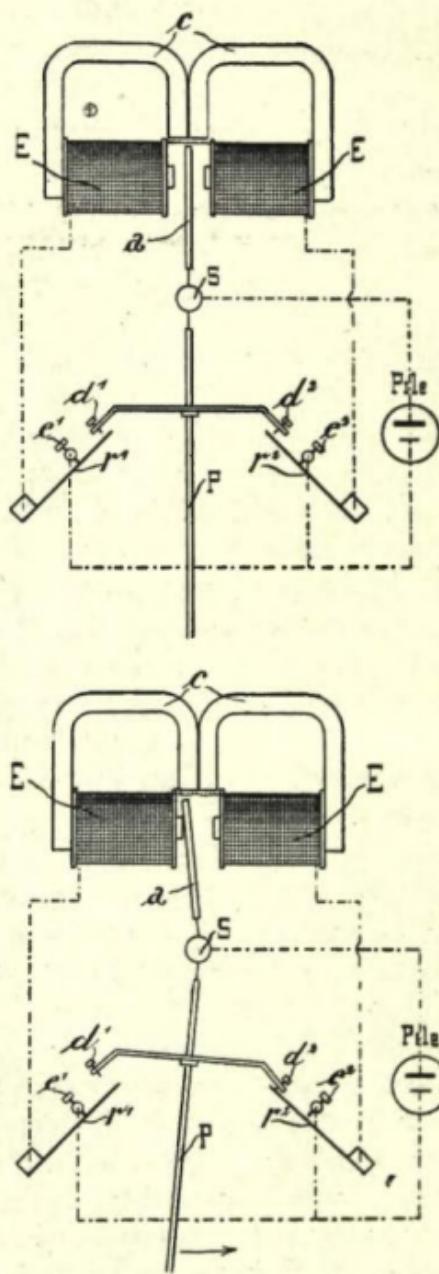


Fig. 62. — Pendule électro-magnétique de M. Baumann

bandage de la lame de suspension. Dans la deuxième position représentée l'armature *a* étant attirée vers le noyau gauche exerce un effort sur la lame de suspension, effort qui correspond à une impulsion donnée au pendule dans le sens de la flèche, de gauche à droite.

Il existe plusieurs variétés d'horloges construites sur ce principe. Les pendules mécaniques du Dr Rieffer et du professeur Strasser comportent également une pièce flexible solidaire des lames de suspension ; cette pièce placée au-dessus du point de suspension est en relation avec l'organe moteur (poids ou ressort) et reçoit, par l'intermédiaire d'une ancre, le mouvement alternatif qui entretient les oscillations du pendule. Dans l'horloge de M. Baumann, ce mouvement est réalisé électriquement par l'action de deux noyaux d'électro-aimant.

(Voir encore comme application électrique de ce principe le brevet allemand 212549).

Pendule électrique Siemens-Schuckert Werke

Dans cette horloge également l'effort moteur se produit au-dessus de la suspension du pendule.

Le pendule *P* (fig. 63), suspendu par deux lames-ressorts *r*, oscille sur les couteaux *c* et porte un petit barreau *b* de fer doux qui participe aux oscillations du pendule et passe très proche des noyaux de l'électro-aimant fixe *e*.

Cet électro-aimant est excité par le courant d'une pile fermée aux moments nécessaires par l'échappement électrique *C* de Hipp commandé par la tige du pendule et que nous connaissons. Dès que le contact est opéré, le courant de la pile passe dans les bobines de l'électro-aimant dont les noyaux attirent le barreau *b*, opérant ainsi une légère flexion sur les ressorts *r* de suspension, effort qui se traduit par une impulsion sur le pendule *P* dans le sens de son mouvement.

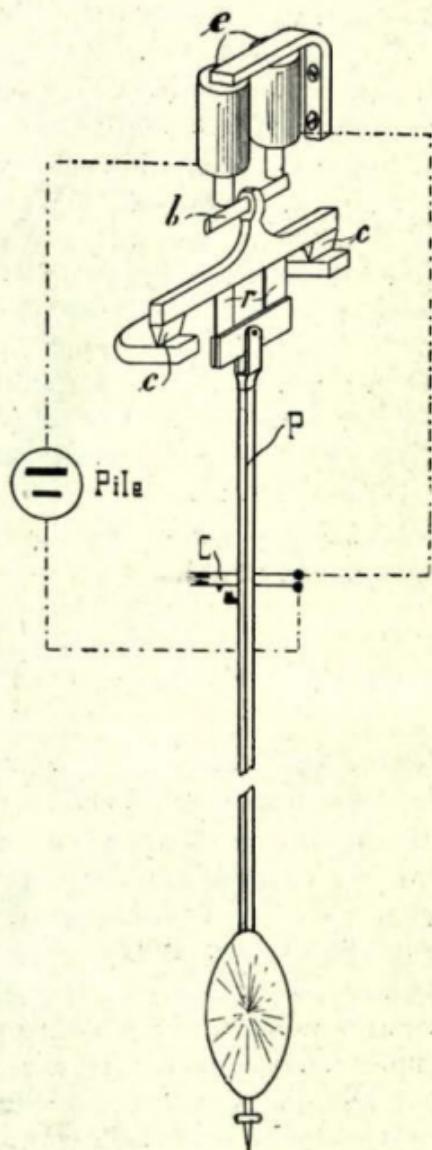


Fig. 63

Pendule électrique Siemens-Schuckert Werke

Pendule à restitution électrique constante de M. Ch. Féry

Le pendule électrique de M. Ch. Féry (fig. 64) est une application du « Coup de poing de Breguet » que nous avons étudié parmi les moyens de production des courants induits (chapitre IV).

Le « Coup de poing » est réalisé par l'aimant permanent en fer à cheval *A* dont chacune des branches porte un enroulement de fil *e*. Les extrémités de ces deux enroulements sont reliées au fil de solénoïde *B* dans lequel peut entrer et sortir une des branches d'un aimant *D* qui termine le pendule *P* suspendu en *S*. Une armature *ab*, pivo-

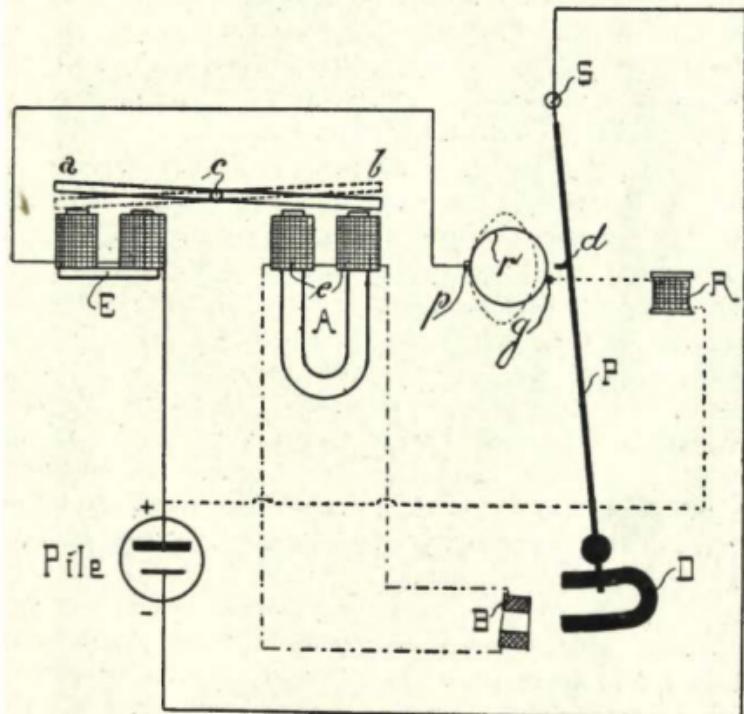


Fig. 64. — Pendule à restitution électrique constante de M. Ch. Féry

tant sur l'axe *c*, est maintenue par l'attraction de l'aimant *A* dans la position dessinée en traits pleins ; elle appuie par son extrémité *b* sur les pôles de l'aimant en fer à cheval *A'* tandis que l'autre *a* se trouve éloignée des pôles de l'électro-aimant *E*.

Le fil de l'électro-aimant *E* est relié d'une part au pôle + de la pile, de l'autre aboutit en *p* à un très léger ressort *r* constitué par une lame d'acier destinée à la construction des spiraux de chronomètres de marine et présentant, comme le montre la figure, la forme d'une circonférence. Le pendule *P*, relié électriquement par sa suspension *S* au pôle — de la pile, porte un doigt *d* qui, dans la position représentée, est éloigné du ressort circulaire *r* ; de cette façon, le courant de la pile est interrompu. Le courant ne passera dans l'électro-aimant *E* qu'au moment où le pendule oscillant de droite à gauche vient appuyer par son doigt *d* sur le ressort *r* qui cède et prend la forme (ligne pointillée) d'un ovale. A ce moment, l'électro-aimant étant excité attire brutalement l'armature dans la position dessinée pointillée. L'arrachement de l'extrémité *b* du pôle de l'aimant *A* détermine dans celui-ci une variation de flux qui donne naissance dans les enroulements *e* à un courant induit qui circule dans le solénoïde *B* où il détermine un flux magnétique qui attire la branche de l'aimant *D* du pendule. Au retour de son oscillation, le doigt *d* abandonne le ressort *r*, le courant est interrompu, l'attraction de *E* cesse et l'armature, sous l'effet de l'attraction de l'aimant *A*, vient de nouveau plaquer sur les pôles. Le circuit magnétique de l'aimant se trouvant fermé, la valeur de son flux magnétique augmente brusquement, conséquence : production d'un nouveau courant induit dans les enroulements *e* et le solénoïde *B*, mais cette fois de sens contraire au premier, c'est-à-dire que l'aimant *D* est repoussé de gauche à droite. Le doigt *d* du pendule ayant fermé puis ouvert le circuit de la pile a donc eu pour conséquence la production dans le solénoïde *B* de deux courants induits, courants qui se sont

traduits chaque fois par une impulsion exercée dans un sens propice à l'entretien des oscillations du pendule.

Le rôle de la bobine R , dont le fil est relié d'une part à une goupille fixe g , de l'autre sur le circuit de la pile, est d'anéantir l'étincelle de rupture aux points de contact.

Au moment où le doigt d quitte le ressort r , celui-ci vient appuyer sur la goupille g et la surtension du courant dûe à la selfinduction que présente l'électro-aimant E , au lieu de se manifester par une étincelle entre le ressort r et le doigt d , se dépense dans le circuit fermé constitué par : goupille g , bobine R , fil partant du pôle + de la pile, électro-aimant E , plot p , ressort r , goupille g .

La forme particulière du ressort r a été choisie par M. Féry dans le but d'éviter tout frottement aux points de contact. Par cette disposition, en effet, le ressort appuyant sur le doigt d suit l'oscillation du pendule dans tous ses mouvements sans glisser. Ce point a son importance dans les horloges où l'on vise à la haute précision. Un glissement, même très léger, entre deux contacts produit à la longue un grippement qui se traduit par une résistance préjudiciable à la régularité de la marche du pendule. Ce grippement peut être constaté facilement en insérant un téléphone dans le circuit ; on entend alors un bruit très caractéristique qui a lieu pendant toute la durée du contact.

M. Ch. Féry s'est ingénier à éliminer cette cause de perturbations et a réalisé un pendule que nous décrivons ici et qui est caractérisé par le fait qu'il *ne touche à aucun corps solide* pendant son oscillation.

Pendule sans lien matériel de M. Ch. Féry

L'horloge électrique de M. Ch. Féry est une intéressante application des phénomènes de l'induction, notamment des courants de Foucault. Elle réalise un problème des plus curieux et qui peut paraître d'abord impossible : celui

d'un pendule qui commande l'entretien de son propre mouvement et celui d'autres appareils, sans pour cela entrer en contact avec aucun corps solide.

L'horloge (fig. 65) comporte deux pendules ; le premier P , suspendu en S , porte à son extrémité inférieure un anneau de cuivre rouge a dans lequel pénètre une des branches de l'aimant en fer à cheval A fixé à l'extrémité du second pendule P' suspendu en S' .

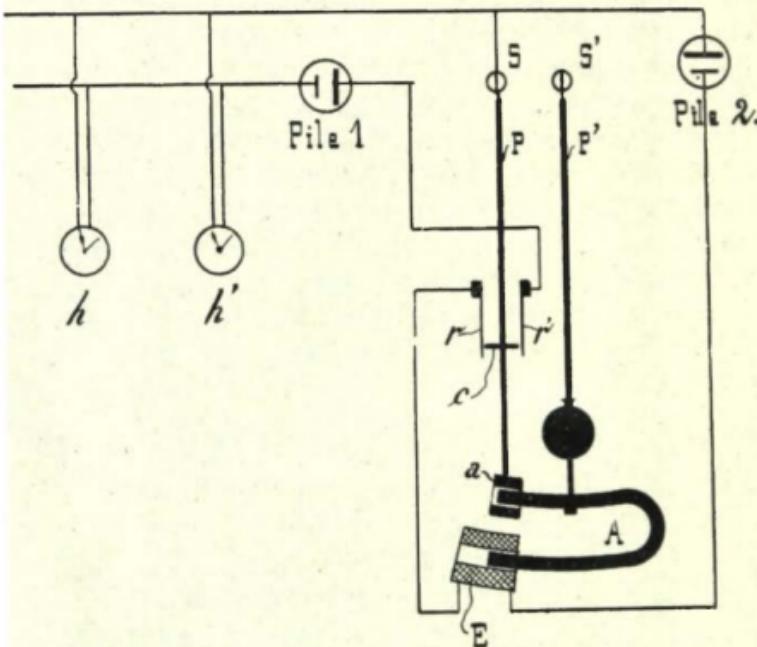


Fig. 65. — Pendule sans lien matériel de M. Ch. Féry

Ces deux pendules ont la même durée d'oscillation. Le pendule P , lorsqu'il oscille, entre alternativement en contact par sa traverse c avec les ressorts r et r' . Le contact avec r ferme le courant de la pile 2 sur le solénoïde E , dans l'ouverture duquel peut se mouvoir la seconde branche de l'aimant A . Le contact avec r' ferme le courant de la pile 1 sur les horloges réceptrices h h' ...

Ce pendule, convenablement réglé, jouit de la propriété intéressante de se mettre en marche dès qu'on ferme ses bornes sur une pile.

Le solénoïde *E* étant parcouru par un courant de sens convenable attire la branche de l'aimant *A'*; l'autre branche, en se déplaçant dans l'anneau massif de cuivre *a*, y détermine des courants de Foucault; ces courants réagissent sur la branche aimantée, et le pendule *P'*, entraîné par ces réactions successives, se met à osciller avec le pendule *P* fermant tour à tour le circuit de la pile 2 sur le solénoïde *E* et celui de la pile 1 sur les réceptrices.

Au moment de la mise en marche, le pendule *P* ne commence pas son oscillation exactement en même temps que le pendule *P'*; il se produit entre ces deux pendules un retard, un décalage de $1/4$ de période.

Pendule électrique ATO

Nous retrouvons ici encore l'application des propriétés de l'aimant et du solénoïde. La pendule fig. 66 comporte un balancier *o* muni d'un aimant *A* qui en oscillant passe dans l'anneau d'une bobine *B* parcouru par le courant

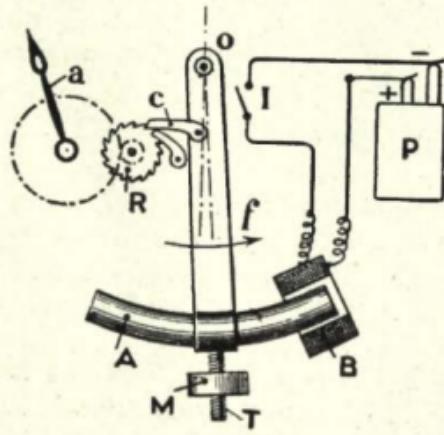


Fig. 66

de la pile *P* chaque fois que le contact *I* est ouvert et fermé automatiquement par le balancier.

Le cliquet *C* porté par le pendule actionne le rochet *R* dont le mouvement de rotation est transmis au rouage et aux aiguilles du mouvement d'horlogerie.

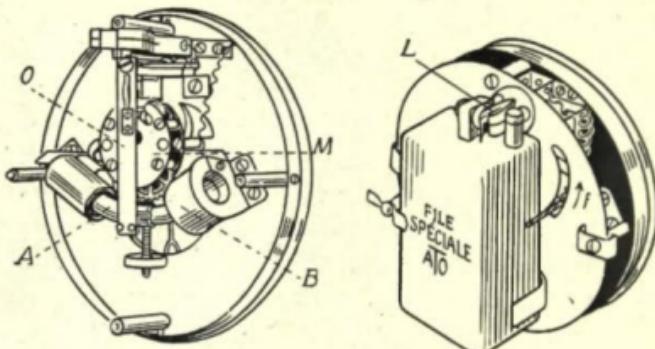


Fig. 67

La fig. 67 montre une vue d'ensemble avec et sans pile d'un tel système appliquée à une pendulette. La pile spécialement construite est fixée contre le mouvement au moyen de griffes. En *L* sont les lames-ressorts établissant les contacts avec les deux pôles. *M* est le mouvement d'horlogerie.

Pendule électrique Ch. Poncet et Ch. Pons

Ce type de pendule nous montre une autre application intéressante utilisant les effets d'attraction et de répulsion d'un aimant passant dans le champ magnétique d'une bobine en forme de galette parcourue par un courant électrique.

Le pendule fig. 67 porte à son extrémité inférieure une lentille *C* dans laquelle est encastré un aimant en fer à cheval *A* dont les pôles *N* et *S*, doubles, chevauchent une

galette *B* formée d'un enroulement de fil émaillé de cuivre de 0,10 mm. Les deux extrémités de cet enroulement sont reliées d'une part à la pile *P*, au ressort de contact *h* et à

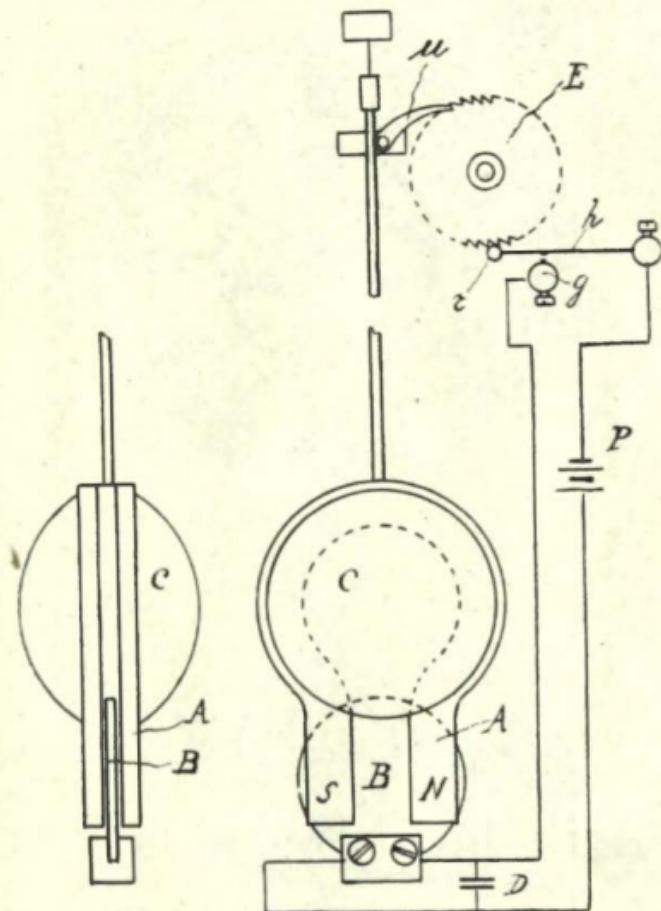


Fig. 68

la vis de contact *g.*; le ressort *h* appuie par un galet *r* contre la denture d'un rochet *E* de 60 dents qui actionne l'aiguille de seconde de l'horloge. Ce rochet commande en plus le rouage connu d'un mécanisme d'horlogerie.

Un cliquet μ fixé à l'extrémité supérieure du pendule agit dans la denture du rochet E . Un condensateur D placé en dérivation sur le circuit électrique à comme but

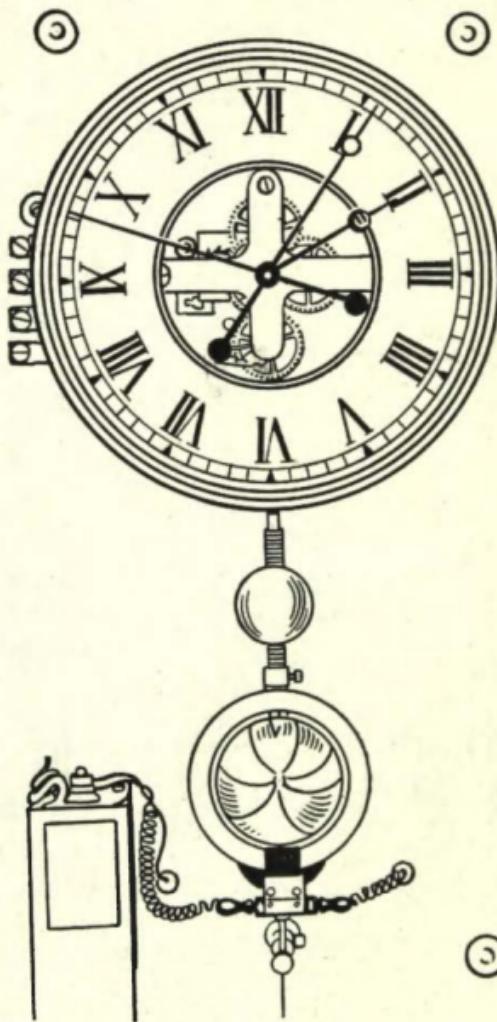


Fig. 69

d'absorber l'étincelle de rupture. Après ce que nous avons dit de l'action des aimants sur les solénoides le

fonctionnement de cette horloge est aisé à comprendre.

Le pendule en oscillant fait tourner le rochet *E* de la valeur angulaire d'un demi-pas. L'autre demi-pas s'achève sous l'action du ressort *h* et de son galet. Cette fonction opère le contact des *g* et *h* fermant et ouvrant le courant sur la bobine *B*. Le flux engendré dans la galette entretient les oscillations du pendule. Le contact *g h* reste ouvert tant que le galet *r* est dans le vide de deux dents. Il se ferme lorsqu'il occupe le sommet d'une dent et ceci au moment où le balancier passe dans la position verticale.

En estimant à 0,1 seconde la durée du passage du courant dans la bobine la dépense annuelle de courant est inférieure à 1 watt-heure.

La particularité dominante de cette pendule réside dans le fait que ses actions combinées des lignes de force des champs magnétiques en présence sont exactement dirigées suivant le plan d'oscillation du balancier.

La fig. 69 donne une vue d'ensemble du mécanisme décrit.

La synchronisation des pendules

Nous ne pouvons terminer ce chapitre si vaste et intéressant des applications de l'électricité au pendule sans examiner rapidement l'important problème de la synchronisation des pendules réalisé très simplement grâce à l'électricité.

Rappelons qu'on entend par synchronisation de plusieurs pendules l'action de les faire osciller ensemble, de rendre leurs mouvements solidaires de celui d'un pendule unique appelé pendule « directeur ou synchronisant ».

Voici la description du dispositif imaginé par Cornu et présenté à l'Académie des sciences le 5 décembre 1887.

Les pendules synchronisés, dont le nombre peut être quelconque, comportent chacun un pendule *P* (fig. 70) suspendu en *S* et portant un barreau aimanté *e* mobile

lors des oscillations dans les ouvertures des deux bobines fixes B^1 et B^2 .

La bobine B^1 , dont le fil est fermé sur une résistance convenable R^1 , joue le rôle connu d'amortisseur des oscillations.

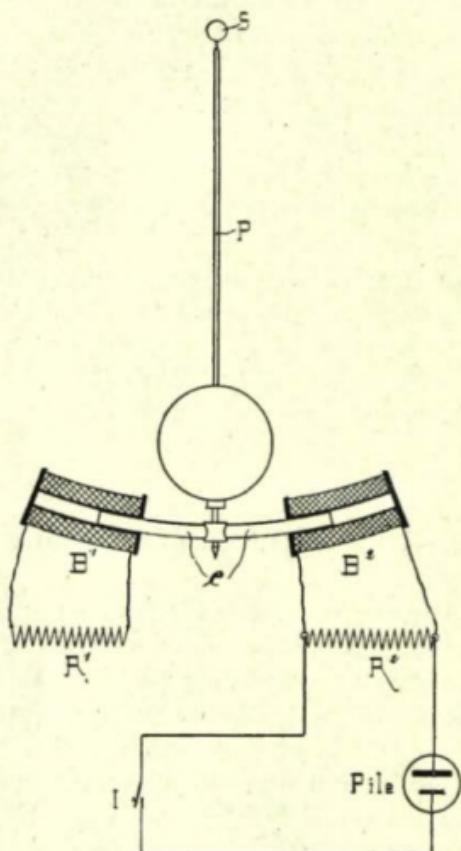


Fig. 70. — Pendule synchronisé de Cornu

La bobine B^2 agit sur le barreau aimanté par attraction toutes les fois qu'elle reçoit le courant de la pile ouvert et fermé par la pendule directrice représenté ici par l'interrupteur I . Cette pendule pourra être du type décrit fig. 57.

« La pile n'a pas besoin d'être très énergique, écrit *Cornu dans son mémoire*; l'action électro-magnétique de la bobine, étant tangentielle et s'exerçant à l'extrémité d'un long bras de levier, est très puissante; aussi reconnaît-on, dès les premiers essais, qu'un courant extrêmement faible (quelques millièmes d'ampère) suffit pour mettre en mouvement un balancier de plusieurs kilogrammes partant du repos. C'est un des avantages les plus précieux de ce dispositif.

« L'emploi des courants faibles est avantageux à bien des points de vue: l'un des principaux est d'éviter les étincelles d'extra-courants de rupture qui altèrent à la longue les surfaces de contact.

« La résistance R^2 est aussi un palliatif des extra-courants de la bobine B^2 ; elle fournit en outre un réglage facile de l'action électro-magnétique indépendant de celui de la pile et du distributeur, avantage très grand lorsque l'horloge distributrice se trouve à une grande distance de l'appareil synchronisé. Il ne faut pas oublier que cette résistance ferme d'une manière permanente le circuit de la bobine B^2 et la fait agir comme amortisseur concurremment avec la bobine B^1 .

« L'amortissement, absolument nécessaire pour arriver au synchronisme, peut être obtenu de bien des manières; on pourrait, par exemple, employer un simple tube de cuivre, ou, rejetant toute induction électro-magnétique, utiliser le frottement d'un fluide visqueux, ou simplement de l'air. Mais l'emploi de bobines à fil isolé permet d'établir ou de supprimer à volonté l'amortissement additionnel sans rien changer aux conditions purement mécaniques de l'appareil; ainsi, il suffit d'ouvrir les circuits des deux bobines pour retrouver le mouvement du balancier libre, affranchi de toutes les actions ou réactions électro-magnétiques destinées à le synchroniser. Cette condition est éminemment favorable à l'étude expérimentale du réglage. »

Cornu employa le dispositif que nous venons de décrire à la synchronisation d'horloges à secondes et obtint d'excellents résultats, malgré les distances considérables qui séparaient les appareils et l'imperfection de la ligne télégraphique qu'il avait à sa disposition.

Le problème de la distribution de l'heure à une précision voisine du centième de seconde me paraît donc complètement résolu, conclut-il. Il n'est peut-être pas indifférent de faire remarquer que le dispositif est simple, d'un réglage facile, et n'exige que de faibles courants.

Horloge électrique Zénith-Calora

Ce type d'horloges, dont l'inventeur est M. C.-D. Jamin (Pays-Bas), repose sur un principe totalement différent de ceux décrits jusqu'ici. Un fil conducteur d'électricité de forme et d'alliage appropriés, mesurant 0,10 mm. de diamètre, est chauffé périodiquement sous l'action du pendule par un courant électrique. L'élévation de température momentanée modifie par dilatation la longueur du fil conducteur ; c'est cette modification de longueur qui est utilisée comme force impulsive pour entretenir les oscillations de l'organe régulateur balancier ou pendule.

Sur un pendule quelconque, fig. 71, sont fixés deux contacts *a a'* qui viennent alternativement en contact avec deux lames *b* et *b'*. Le pendule est relié par le cordon *c* en soie au bras flexible *f* d'un levier pivotant *d* dont l'autre extrémité est fixée au fil moteur *e* protégé par un tube *i*. Le fil moteur est relié électriquement d'une part à la lame *b* et de l'autre par le collier inférieur du tube *i* au fil *g* d'un secteur d'éclairage de courant alternatif dont la tension est convenablement abaissée au moyen d'un petit transformateur non représenté sur le dessin. La lame *b'* est reliée électriquement au même fil *g* du secteur par l'intermédiaire d'une résistance *r*. Le pendule *p* est relié électriquement au second fil *h* du secteur.

Lorsque le pendule oscille à gauche, le contact *a* ferme le courant du secteur sur le fil moteur *e* qui se dilate. L'effort exercé par le fil *e* sur le pendule diminue donc d'intensité. Le pendule oscillant ensuite à droite, le contact *a b* est rompu tandis que s'établit le contact *a' b'* qui ferme

le courant du secteur sur la résistance r . Le fil moteur e se refroidit; il tend à se raccourcir et par là il donne une impulsion au pendule p par l'intermédiaire du cordon c et de la bascule f d . Les organes a b et a' b' sont disposés de façon qu'au point mort du pendule les deux contacts soient fermés. De cette façon le courant est constamment fermé soit sur la résistance r soit sur le fil moteur e . Cette

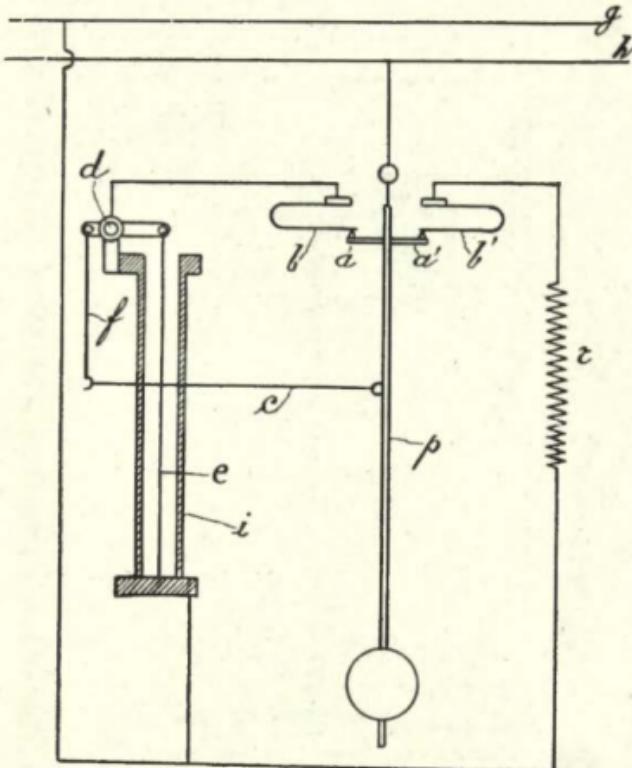


Fig. 71

disposition évite l'étincelle de rupture sur les contacts. La même action se reproduisant à chaque oscillation du pendule, les oscillations sont entretenues tant que le secteur d'éclairage fournit du courant.

Un courant de 3 volts est suffisant pour actionner un pendule même de poids très élevé, soit par exemple de 8 kgs, avec une consommation de 0,75 watt. S'il s'agit d'une série d'horloges de ce système à actionner, le voltage pourra être augmenté selon le nombre de ces horloges.

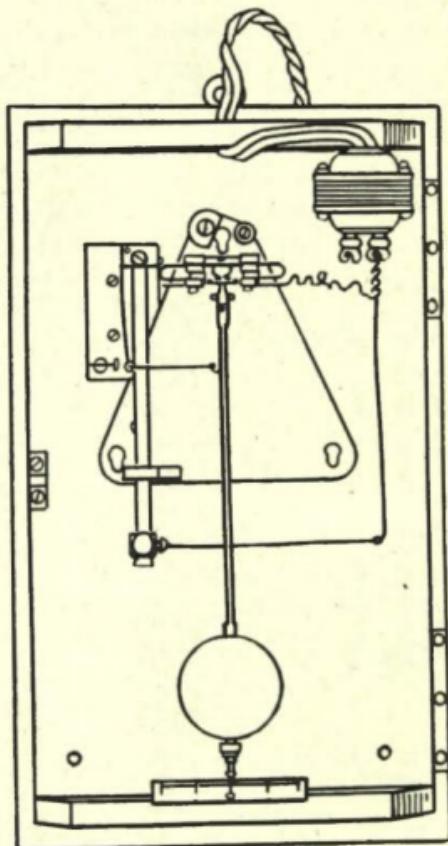


Fig. 72

Par exemple il serait possible de faire marcher sans aucune transformation, sur un courant de 125 volts continu ou alternatif, 80 pendules. Dans ce dernier cas, tout le courant étant utilisé, on peut employer du courant continu,

ce qui n'est pas le cas pour de petites installations d'horloges individuelles où le courant alternatif est nécessaire pour que la consommation soit celle indiquée de 0,75 watt. Cette consommation est plus faible que la consommation propre des compteurs d'électricité les plus sensibles. Un compteur de 3 ampères sur 110 volts, soit de 330 watts, absorbe pour entretenir son mouvement le 0,5 % de 330 watts, soit 1,65 watts. L'horloge, ne dépensant que la moitié environ de cette énergie, ne peut donc pas mettre en marche le compteur.

Le mouvement oscillant du pendule est transmis directement par un cliquet à un rouage actionnant les aiguilles de l'horloge, lesquelles avancent régulièrement et lentement comme dans les horloges non-électriques.

Dans le cas d'une installation où l'on désire éviter le risque d'arrêt résultant de l'arrêt même du courant de secteur, un dispositif comportant un relais et une batterie d'accumulateurs peut être prévu pour alimenter les circuits électriques pendant la durée des arrêts seulement ; mais les inventeurs se sont arrêtés à une solution plus simple encore, qui consiste à utiliser comme réserve d'énergie un ressort moteur logé dans un barillet.

La force impulsive agissant sur le pendule dépendant directement de l'intensité du courant du secteur est soumise à des variations qui peuvent être assez sensibles et provoquer des irrégularités de marche.

Pour obvier à cet inconvénient l'inventeur a prévu dans le cas d'horloges où une précision plus grande est demandée des dispositifs qui sans modifier le principe de l'horloge éliminent l'influence des variations de courant sur le mouvement pendulaire.

La fig. 72 donne une vue d'ensemble du mécanisme avec son transformateur.

CHAPITRE IX

Applications du moteur électrique

Le moteur électrique, appliqué aux mécanismes d'horlogerie, est susceptible d'une foule de combinaisons des plus intéressantes, et il est fort probable qu'il tiendra bientôt en horlogerie électrique, au moins dans la classe des horloges à remontoir, une place aussi importante que l'électro-aimant.

Sa principale application consiste à lui faire remonter des poids ou des ressorts et il est bien la machine qui s'acquitte de cette tâche dans les meilleures conditions.

Tout d'abord, le moteur électrique travaille silencieusement ; ensuite, le moteur utilise le courant de la pile dans des conditions qui ne peuvent qu'être favorables à sa durée. Tandis que l'électro-aimant exige généralement un courant intense et bref, le moteur, au contraire tournera sous un débit relativement faible, exercé plus longtemps il est vrai, mais aussi à des intervalles de temps qui peuvent être très grands et réduisent par conséquent le nombre des contacts.

Le moteur électrique se prête également, comme nous allons le voir tout à l'heure, à certaines combinaisons qui permettent d'utiliser l'énergie de la pile jusqu'à épuisement pour ainsi dire complet.

Il est bien évident que, pour réaliser ce programme, le moteur doit présenter lui-même des qualités spéciales, être en particulier très sensible, « démarrer » avec une grande facilité. Il est certain que les moteurs, si mignons soient-ils, qu'on achète pour 3 ou 4 fr. dans les bazars,

feraient triste figure dans un mécanisme d'horlogerie. Les types de moteurs que nous avons décrits au chapitre IV, s'ils conviennent parfaitement au but de l'horloger, sont aussi d'un prix assez élevé en raison même de la délicatesse de leur construction.

*Horloge-mère de la Société « Magneta »
(Horloges électriques sans batterie ni contact)*

Dans cette horloge, le moteur joue un rôle tout différent de celui que nous lui reconnaissions tout à l'heure, car il est employé ici comme source d'énergie. L'induit du générateur, mis en mouvement par un rouage spécial, distribue à des horloges réceptrices le courant induit qui prend naissance dans ses spires. Voici, brièvement exposé, en quoi consiste une telle horloge.

L'horloge-mère « Magneta » (fig. 73) comprend deux rouages ; le premier, actionné par la roue à poids R^1 , commande l'ancre habituelle a d'un mouvement d'horlogerie à aiguilles d'heures et de minutes ; l'autre, actionné par la roue R^2 , commande le mouvement de l'induit du générateur.

A cet effet, le dernier pignon P de ce rouage porte un levier L à deux bras qui au repos vient appuyer sur une des trois chevilles c fixées sur un levier coudé C qui pivote en o et appuie constamment, par un bec b , contre une des 6 goupilles g d'une des roues du premier rouage.

Sur l'axe du pignon P est encore fixée une manivelle M reliée par une tringle T à un bras B qui commande l'axe A de l'induit du générateur.

L'induit du générateur est constitué par un noyau en fer doux I qui porte un enroulement e de fil de cuivre isolé ; le tout est mobile sur les pivots de l'axe A et se déplace en regard des pôles N et S de l'inducteur.

Le fonctionnement de l'horloge est des plus simples. Le mécanisme d'horlogerie, commandé par la roue R^1 ,

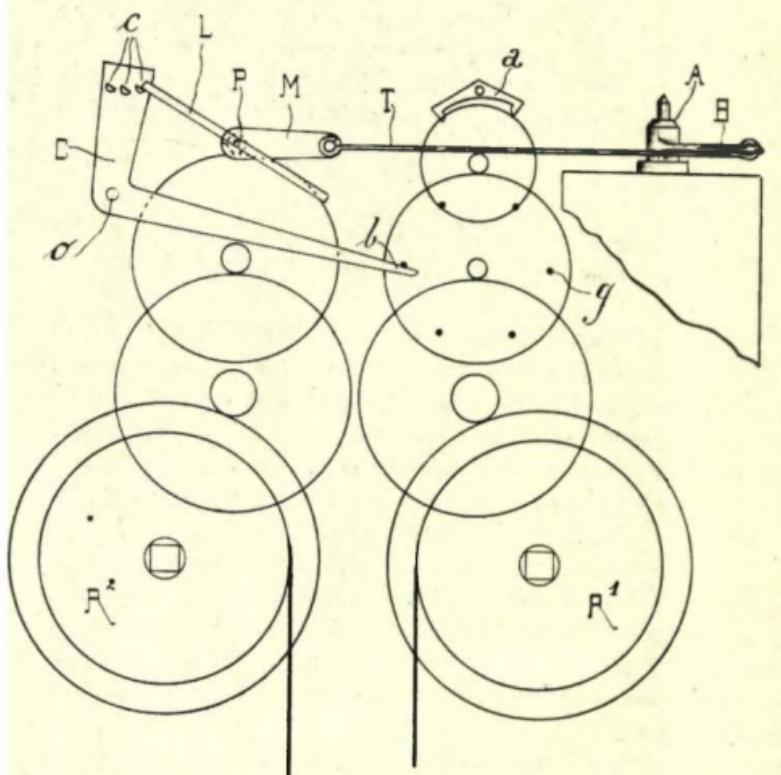


Fig. 73. — Horloge-mère « Magneta »

étant en marche, la roue qui porte les 6 goupilles g tourne lentement. Une des goupilles appuyant sur le bec b tourne le levier coudé C de gauche à droite ; un des bras de L repose successivement sur chacune des chevilles c jusqu'au moment où, le déclanchement se produisant, le levier L exécute un énergique demi-tour sous l'action de la roue R^2 . Ce mouvement se transmet par la manivelle M , la tringle T et le bras G à l'induit du générateur. Le bec b appuie maintenant sur la goupille suivante et le second bras de L de nouveau sur la première cheville c . Ce mouvement se répétera par exemple toutes les minutes ; le déplacement de l'induit I a pour conséquence la naissance d'un courant induit dans les spires de l'enroulement e . Ce courant est conduit par deux fils aux horloges réceptrices.

Nous concevons aisément que la durée de ce courant est extrêmement courte ; aussi les réceptrices qu'il est appelé à actionner doivent-elles être très sensibles, condition indispensable pour ne pas les exposer à des « ratés ». Remarquons encore qu'elles sont à armatures polarisées, le mouvement de l'induit donnant naissance à un courant qui change de sens à chaque demi-tour de la manivelle. (*Voir adjonction, page 180.*)

*Horloge à remontage électrique
de l'ancienne Société Electric-Silentia à Besançon*

Cette horloge (fig. 74) comporte un bâillet moteur B avec son ressort qui actionne le pignon P de la roue de centre C d'un mécanisme habituel d'horlogerie.

Ce bâillet est remonté automatiquement toutes les heures de la même quantité par un petit moteur actionné par un ou deux éléments de pile de la façon suivante.

La denture hélicoïdale h de l'axe de l'induit engrène avec une roue R^1 en celluloïde ; cette roue transmet son mouvement au rochet R du bâillet B par l'intermédiaire des roues et pignons P^1 , R^2 , P^2 .

Sur la roue R^2 est fixé un disque d^1 portant une encoche e^1 . Un second disque d^2 à encoche e^2 est fixé sur la roue de centre C .

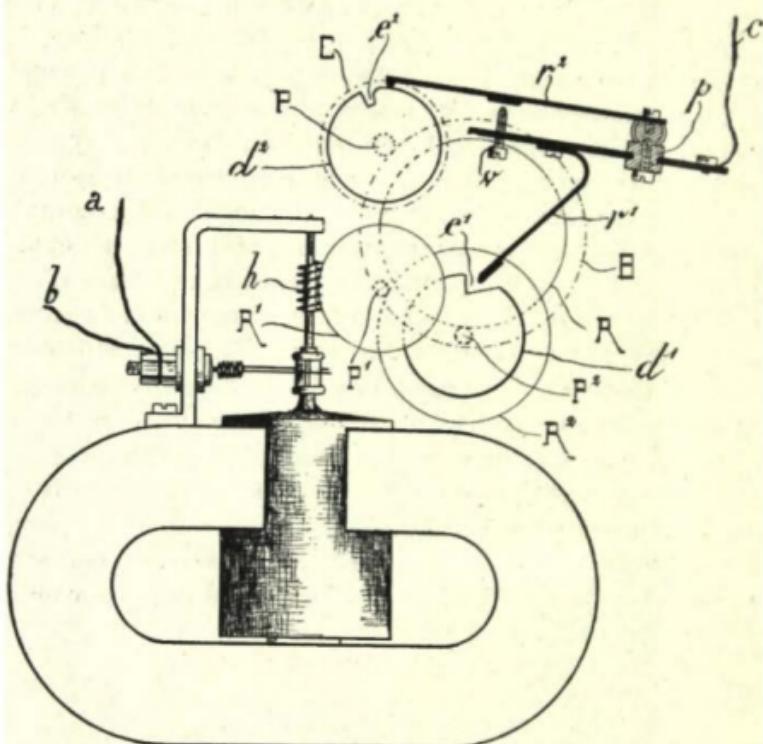


Fig. 74. — Horloge à remontage électrique « Silentia »

Un plot p , isolé de la masse du mouvement d'horlogerie, porte deux ressorts dont le premier r^1 présente son extrémité en regard de l'encoche e^1 , et l'autre, r^2 , frotte sur le pourtour du disque d^2 de telle façon qu'il est empêché de toucher à la vis v portée par l'autre ressort.

Le ressort r^1 est relié à l'un des pôles de la pile par le fil c , tandis que r^2 fait partie de la masse, laquelle est reliée avec le fil a du moteur, b étant relié à l'autre pôle de la pile. Ainsi, tant que la vis v n'entre pas en contact avec le

ressort r^2 , le circuit de la pile est interrompu et le moteur au repos. Le mouvement d'horlogerie étant en marche, la roue C , qui fait un tour par heure, vient à un moment donné présenter l'encoche e^2 du disque qu'elle porte en regard de l'extrémité du ressort r^2 ; celui-ci y tombe et, appuyant sur la vis v , ferme le circuit. Le moteur se met en marche et remonte le bâillet par le train de roues et pignons en relation avec son rochet R .

Le rôle du disque d^1 est d'assurer chaque fois au bâillet une quantité égale de remontage, indépendante de la vitesse de rotation du moteur. En effet, ce disque tournant avec la roue R^2 entre en contact par sa périphérie avec le ressort r^1 et le circuit de la pile reste fermé (le disque d^1 faisant partie de la masse) aussi longtemps qu'il n'a pas accompli un tour complet. A ce moment, le ressort r^1 reprend la position dessinée, le circuit est interrompu et le ressort r^2 ayant remonté les parois de l'encoche e^2 se retrouve durant une nouvelle heure sur la périphérie de son disque d^2 pour retomber ensuite dans l'encoche. Il provoque alors un second remontage et un second tour du disque d^1 .

Ainsi, grâce à ce dispositif, le moteur est astreint à des remontages de valeurs rigoureusement égales, quitte à ce qu'il effectue son travail plus ou moins rapidement suivant l'état de la source électrique. Ce remontage dure en moyenne 4 minutes.

*Horloge électrique réceptrice
de l'ancienne Société Electric-Silentia à Besançon*

Le même petit moteur est appliqué ici à une horloge réceptrice (fig. 75). L'axe du moteur, à denture hélicoïdale, commande la rotation d'une roue R^2 par l'intermédiaire de la roue R^1 et du pignon P^1 . Cette roue R^2 porte, ajustée à frottement gras sur son axe (par un ressort à trois bran-

ches non représenté), une ancre A qui commande le mouvement de la roue dentée R^3 . Le courant arrivant au moteur par les fils a et b reliés à l'horloge-mère change de sens à chaque émission. La roue R^2 tournant dans un sens entraîne par frottement gras l'ancre A qui fait faire à la

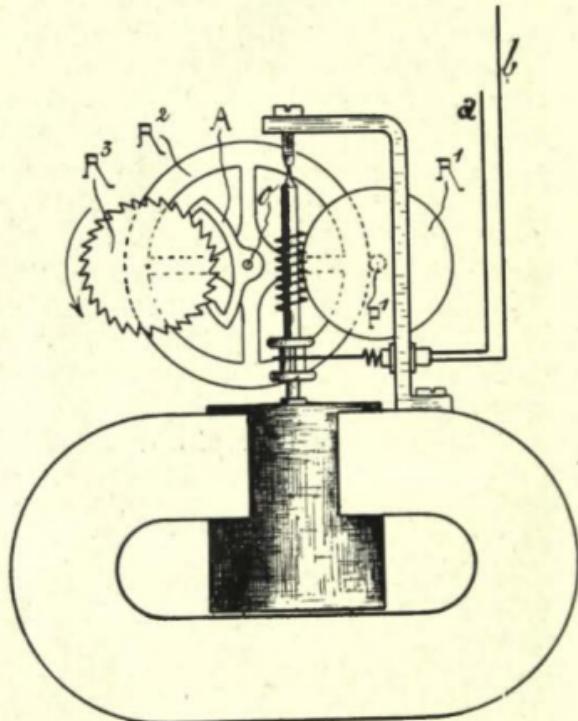


Fig. 75. — Horloge réceptrice « Silentia ».

roue R^3 un mouvement de rotation équivalant à la valeur angulaire d'une demi-dent. A la prochaine émission, l'ancre est entraînée en sens contraire, d'où résulte une nouvelle rotation, toujours dans le sens de la flèche, de la roue R^3 qui actionne une minuterie et des aiguilles.

Première adjonction (de l'auteur)

Horloge réceptrice David Perret fils (page 119)

Ce dispositif a été heureusement modifié par M. E. Bonnet, ingénieur, successeur de la fabrique David Perret. Dans l'ancien modèle décrit, l'armature de l'électro-aimant était composée d'un bloc de fer doux massif d'un poids relativement lourd pour une horloge. Lorsque l'armature *A* se rapproche du noyau *n*, le couple magnétisant décroît tandis que la résistance du ressort *r* augmente. Dans la nouvelle construction, tout en conservant la même carcasse, l'armature se compose d'une petite pièce de fer profilé, fixée sur un support en aluminium, mobile sur l'axe du mouvement, ce qui réduit l'inertie au strict minimum. Le ressort *r* est supprimé et le poids de l'armature suffit pour actionner le rochet *R*.

Ce dispositif peut, dans ces conditions, fonctionner déjà avec une intensité de courant de 8 à 10 millampères, au lieu de 100 à 150, avec l'ancienne construction. Il est alors indiqué de placer les horloges secondaires sur le nouveau type de relais également combiné par M. Bonnet et que nous décrivons ici.

Ce relais (figure 76) se compose d'une carcasse magnétique avec armature légère oscillante, pareille à celle des horloges secondaires et que nous connaissons. L'armature est fixée sur son axe et porte les parties mobiles des contacts. Sur l'axe est également fixé le bras actionnant la tige du piston de freinage visible à gauche de la figure. Sur cette tige est fixé un cylindre en graphite auto-lubrifiant, lequel se meut dans le corps du frein, qui est en bronze poli intérieurement. Le piston, mobile dans le sens vertical, vient appuyer au repos sur une surface en métal qui empêche l'air de passer entre la tige et le piston. Un ressort placé au-dessus du piston le fait plaquer sûrement contre sa

base. Le cylindre en bronze porte un robinet à air composé d'une vis à pointeau permettant d'en régler l'ouverture.

Le fonctionnement du relais est le suivant : chaque minute, la bobine du relais est excitée, son circuit étant fermé par l'horloge-mère. L'armature du relais est attirée

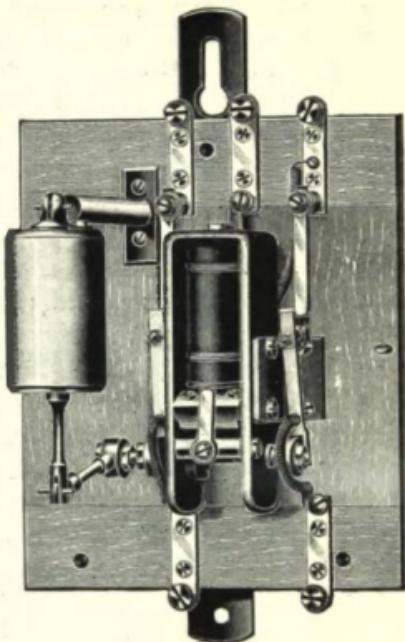


Fig. 76. — Relais à contact retardé par frein pneumatique réglable.

et ferme successivement premièrement le ou les circuits des horloges secondaires, et ensuite le circuit de remontage de l'horloge-mère.

Si le relais possède plusieurs circuits secondaires, ces circuits peuvent être fermés simultanément ou successivement, ce qui dépend du diamètre des cadrons alimentés par chaque circuit. Le piston, en remontant dans le cylindre, rencontre la résistance de l'air, qui cherche à s'échapper

entre les parois du cylindre et du piston ou encore par le robinet d'air. En dévissant le pointeau du robinet, l'air peut être évacué plus rapidement et la course du piston est accélérée. Une fois le circuit de remontage de l'horloge-mère fermé, instantanément l'horloge-mère ouvre le circuit du relais. A ce moment, l'armature du piston revient dans sa position primitive sous l'action de la pesanteur. Le piston joue automatiquement le rôle de soupape, laisse entrer l'air et, par sa chute, provoque une rupture brusque du courant. Le robinet à pointeau permet de régler la durée des contacts à une fraction de seconde près. L'application de ce relais à l'horloge modifiée comme nous l'avons décrit permet de simplifier grandement les installations d'horloges secondaires. A titre d'exemple, citons la distribution de l'heure de la gare de La Chaux-de-Fonds, qui se composait d'un régulateur à seconde de 9 relais (ancien type) actionnant 25 horloges secondaires, cadans de 15 à 75 cm. de diamètre, simple et double face, plus une horloge de fronton extérieur de 2 mètres de diamètre. Les horloges secondaires avaient une résistance de 10 ohms chacune. La même installation, transformée comme ci-dessus, ne comporte plus qu'un seul relais à frein pneumatique et deux circuits secondaires, l'un pour les horloges de 15 et 75 cm., l'autre pour l'horloge de fronton. Les bobines ont 1000 ohms de résistance et la moitié des piles a été supprimée.

Deuxième adjonction (de l'éditeur)

Pendules de commutation à remontage électrique, de la Société Genevoise d'Instruments de Physique.

Nous extrayons ce qui suit d'une conférence donnée à l'Assemblée générale de l'Association Suisse des Électriciens, le 13 juin 1925, par M. Louis Martenét, ingénieur, chef du Service de l'Électricité de Neuchâtel :

« Prenons un compteur quelconque à courant continu ou à courant alternatif, coupons le circuit shunt de ce

compteur : le fonctionnement de l'appareil cessera aussitôt ; c'est cette particularité qui a servi de base à notre système. Si vous voulez, à certaines heures du jour, une réduction, de 50 % par exemple, sur le tarif de base, il suffira d'arrêter les compteurs pendant une minute sur deux ; on aura bien réalisé ainsi une réduction de moitié sur le prix du courant. Si nous voulons obtenir une

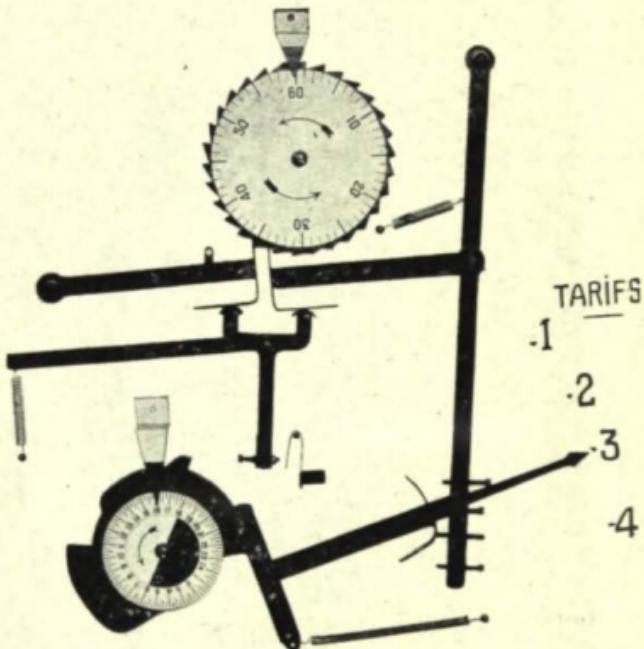


Fig. 77.— Horloge à tarifs multiples, modèle schématique agrandi.

réduction plus forte, à d'autres heures, disons 75 %, on arrêtera les compteurs pendant une minute et demie sur deux ; de la sorte tous les tarifs sont possibles. L'interruption du shunt de tous les compteurs se fait au moyen d'une horloge centrale qui ferme ou ouvre le circuit constitué d'un fil pilote sur lequel sont branchés tous les shunt des compteurs d'une maison, d'une rue ou même d'un quartier.

« Ainsi décrite, la question paraît très simple ; en passant à l'exécution, nous avons pu nous rendre compte que des difficultés se présentent.

« Il a fallu tout d'abord créer une horloge remplissant les conditions requises ; la Société Genevoise d'Instruments de Physique est arrivée à perfectionner et à mettre sur pied un appareil qui répond parfaitement aux conditions exigées, ce qui n'allait pas sans difficultés. Il fallait, en effet, à côté de la marche régulière qu'on exige d'une horloge de ce genre, un dispositif interrupteur supportant sans s'altérer un millier d'interruptions par jour avec une charge pouvant aller jusqu'à 1 ampère. On avait primitivement adopté, comme interrupteur, un tube de verre contenant du mercure ; ce système s'est révélé défectueux à l'usage et a été remplacé par des contacts en argent fin qui donnent toute satisfaction.

« Il fallait également, et c'est ici que résidait la grosse difficulté, que la durée des interruptions soit facilement réglable, pour être à même de varier les prix de vente de l'énergie à volonté, suivant les tarifs en vigueur, qui peuvent être modifiés par la suite (voir figure 77).

« Pour les compteurs à deux fils l'horloge comporte un simple contact ; pour les distributions à 3 fils les contacts sont doubles puisqu'il faut couper les deux points du système moteur des compteurs, pour les compteurs à 4 fils on peut obtenir des horloges munies de 3 contacts.

« Une particularité de l'enregistrement, c'est que les cadrans des compteurs n'indiquent plus alors des kWh, mais le prix que les abonnés ont à payer sur la base du tarif maximum. Les réductions provenant de l'application des tarifs réduits étant opérées *non pas sur le prix du kWh*, mais sur le *nombre de kWh* enregistrés, ceci facilite considérablement l'établissement des factures aux consommateurs. On pourrait reprocher à ce système qu'il ne fournit à la centrale ni à l'abonné aucun contrôle *sur le nombre total de kWh consommés*. Ce contrôle, il faut l'avouer, n'a qu'une valeur statistique.

« Cependant, pour combler cette lacune, il se construit, en variante, un compteur un peu différent ; au lieu de l'arrêt par interruption du shunt, chaque compteur est muni d'un relais qui enclanche mécaniquement ou déclanche une seconde minuterie pour permettre l'inscription, sur l'un des cadrans, *du nombre total* de kWh absorbés par l'abonné et, sur l'autre, au moyen de rapports d'engrenage appropriés, *directement*, la somme en francs à payer par le consommateur.

« Il est évident que le second système, qui présente certains avantages, est d'un prix d'achat plus élevé que le précédent ; mais, d'autre part aussi, il ne nécessite qu'un seul fil-pilote, quel que soit le genre de compteur. »

Troisième adjonction (de l'éditeur)

Horloge-Mère Magneta

Les Horloges-mères établies par la « Magneta Suisse S. A. » se distinguent de tous les autres systèmes d'horloges électriques en ce que le courant utilisé pour les horloges secondaires n'est pas emprunté à une source étrangère, mais est produit par l'horloge-mère elle-même. Celle-ci est en effet pourvue d'un induit magnétique qui est actionné chaque minute par l'horloge au moyen d'un rouage spécial. Les impulsions ainsi données se trouvent donc déjà orientées en dépendance du temps exact.

Les horloges-mères « Magaeta » sont établies comme les horloges mécaniques à poids, et cela aussi bien comme horloges de bureau avec pendule à secondes que comme horloges de paroi, avec pendule $3/4$ de seconde. Le remontage s'opère à la main ou automatiquement et, dans ce dernier cas, au moyen d'un moteur électrique avec réserve de marche suffisante. Même si, pour le moteur, la tension fait défaut pendant des jours entiers, le fonctionnement des horloges peut être maintenu en remontant à la main l'horloge-mère.

Pour les installations importantes on utilise plusieurs induits magnétiques, dont chacun peut alimenter un circuit spécial. Les horloges-mères peuvent aussi être pourvues d'un appareil pour signaux ; pour l'actionnement de ceux-ci, le courant est alors emprunté à une batterie ou à un transformateur à sonnette et le circuit des horloges demeure également tout à fait indépendant d'une source de courant étrangère.

Les horloges secondaires sont construites comme des horloges normales avec relais polarisé et peuvent aussi s'employer dans une installation à batterie, de même que, vice-versa, une horloge secondaire à relais polarisé, destinée d'abord à une installation à batterie, peut aussi s'utiliser, dans certaines conditions, dans une installation « Magneta ».

Les horloges-mères aussi bien que les horloges secondaires sont fournies pour tous les usages désirables.

Étincelles aux contacts électriques des horloges

Les constructeurs d'horloges électriques, en général, ne se rendent pas suffisamment compte des effets nuisibles des étincelles provenant de l'interruption de courant aux contacts délicats des horloges électriques. Ces brûlures laissent des traces d'oxyde métallique sur les surfaces d'applications. La surface se couvre avec le temps d'une couche d'oxyde qui peut devenir un isolant et opposer au courant une résistance très considérable, et même réduire le courant de telle façon que l'appareil s'arrête. Dans le condensateur CLAIRETON, le constructeur a le moyen de faire face à ces effets nuisibles. Le CLAIRETON se charge par le courant de service et, au moment de son interruption aux contacts, il se décharge en sens inverse du courant de service. L'étincelle est réduite à un minimum qui ne peut plus influencer les contacts. Ceux-ci restent intacts et, par ce fait, la marche de l'appareil est assurée dans des proportions que l'on ne peut atteindre par n'importe quel autre moyen.

L'auteur, M. F. VOECELI, ingénieur à Berne, rue d'Oppingen, 53, est à la disposition des intéressés pour toutes explications spéciales.

Fabrique VERMEIL

SAINT-AUBIN (Neuchâtel - Suisse)

TÉLÉPHONE N° 40

Fabrique de Pignons

pour

Pendules, Compteurs et Appareils en tous genres

BUREAU TECHNIQUE

CHAPITRE X

Liste des brevets suisses délivrés de 1889 à 1924 concernant les applications de l'électricité aux appareils à mesurer le Temps

Année 1889.

18. Schlagwerk fur Elektro-Regulator.... Heinrich Mahler, Wetzikon.
69. Nouveau système de cadran lumineux pour montres de poche, pendules, horloges publiques, etc..... Ch. Humbert fils, Ch.-de-Pds.
115. Elektro-mechanisches Zentraluhren-System C.-A. Mayrhofer, Berlin
130. Système de moteur électrique (electro-aimant) pour pendules et horloges de tous genres..... Soc. d'horlogerie, Breitenbach.
191. Elektro-Regulator..... Heinrich Mahler, Wetzikon.
664. Appareil pour arrêter un système de pendules en cas de mauvais fonctionnement et annoncer cet arrêt Soc. d'app. élect., Genève.
989. Système d'horloges électriques avec régulateur à remontoir automatique électrique W. Cruyt, St-Nicolas.
1154. Elektrisches Sekundaruhrrwerk..... Émile Schweizer, Bâle.
1259. Elektrisches Uhrwerk für Steh-und Wanduhren Émile Schweizer, Bâle.

Année 1890.

1931. Elektrisches Sekundaruhwerk..... Émile Schweizer, Bâle.
 2115. Elektrisches Uhrwerk für Steh- und
 Wanduhren.. Émile Schweizer, Bâle.

Année 1891.

2794. Elektrische Nebenuhr mit Schlagwerk. Soc. d'horl., Breitenbach.
 3172. Elektrischer Wecker A. Baab, Alzey.
 3214. Elektrisches Nebenuhrwerk Émile Schweizer, Bâle.
 3462. Vorrichtung zur Regelung elektrischer
 Nebenuhren Dr Ludwig von Orth,
 Berlin.
 3633. Elektrischer Wecker Fabrik f. elektrische
 Apparate A. Zellwe-
 ger, Uster.
 3692. Anordnung elektrischer Uhren zum
 gemeinsamen Betriebe mit Anlagen
 für elektrische Beleuchtung oder Kraft-
 übertragung F. v. Hefner-Alteneck,
 Berlin.

Année 1892.

4486. Elektrische Nebenuhr mit Stromwechselmechanismus..... Émile Schweizer, Bâle.
 4676. Elektrische Kontaktvorrichtung an Uhren Dr P. Kappes, Cologne.
 5636. Schaltung für elektrische Nebenuhren zur Beseitigung des schädlichen Einflusses atmosphärischer Elektrizität. J.-J. Raun, Apenrade.

Année 1893.

5711. Vorrichtung zur Betätigung des Schlagwerkes von elektrischen und andern Pendeluhrn G. Kesel, Kempten.
 5712. Kontaktvorrichtung für den Antrieb des Pendels von elektrischen Uhren.. G. Kesel, Kempten.
 6237. Pendule électrique perfectionnée.... A.-B. Webber, Leytonstone.

6619. Elektrische Aufziehvorrichtung für das Gewicht von Uhr-und andern Triebwerken Dr H. Aron, Berlin.
6978. Centraluhren-Anlage mit verzweigtem Leitungsnetz Dr A. Franke, Berlin.
7145. Stromschlusvorrichtung für elektrische Weckuhren..... H.-C.-F. Kröplin, Butzow.

Année 1894.

7397. Un dispositif de remontage automatique des pendules et des horloges. J. Kean, Glasgow.
8191. Horloge centrale avec dispositif destiné à transmettre l'heure, de minute en minute, à un ou plusieurs cadans reliés à celle-ci par un circuit électrique Cardoso E. Basto, São Paulo.
8655. Horloge électrique..... J. Cauderay, Paris.

Année 1895.

10073. Mécanisme automatique électrique pour la sonnerie des heures et demies..... F.-J. Girod, Genève.
10074. Mouvement pour horloge électrique avec cliquet à mouvement alternatif. F.-J. Girod, Genève.

Année 1896.

11340. Magnetische Sonnenuhr..... Léo Braun, Dresden.
11950. Elektrische Pendeluhr..... J. Wiesmer, Heidenheim, et A. Witzel, Stuttgart.
11951. Elektrische Zeigerkontaktevorrichtung-für Zimmeruhren..... A. Schneider, Winterthour.
12022. Vorrichtung zum elektrischen Aufzug einer Antriebsfeder..... Prof. Dr Aron, Berlin.

Année 1897.

14180. Elektrisch betriebenes Pendelwerk mit Schlagwerk..... R. Burk, Schwenningen

14809. Elektrische Uhr..... W. Whithead, Manchester.
 14892. Elektrische Uhr..... H. Schnurrenberger, Zurich.

Année 1898.

15288. Elektrisches Uhrwerk..... F. Hope-Jones et G.-B. Bowell, Londres.
 16115. Mécanisme moteur électrique pour mouvement d'horlogerie remplaçant les ressorts ou poids moteurs J. Cauderay, Lausanne.
 16757. Installation d'horloges électriques... W.-H. Stockall, Londres.

Année 1899.

17034. Einrichtung an Uhrwerken, insbesondere Weckeruhren, zur selbsttätigen Einschaltung eines elektrischen Stromes H. Brodbeck, Liestal.
 17994. Horloge électrique E. Rosi et G. Vacotti. Italie.
 18459. Dispositif applicable aux horloges et permettant leur remise à l'heure depuis un poste éloigné A. Zeschall et C. Resch, Graz.
 18541. Elektrisches Uhrwerk..... H.-E. Anderson, Stockholm.

Année 1900.

18781. Mécanisme perfectionné pour pendules et horloges électriques J. Butcher, Manhattan
 19085. Elektrische Pendeluhr..... R. - R. Reusser - Isler, Unter-Wetzikon.
 19701. Elektrische Uhrenanlage ohne Batterie M. Fischer, Zurich.
 20104. Une pendule avec dispositif de commande électrique pour lui donner des impulsions de force constante..... Ch. Féry, Paris.
 20553. Horloge électrique à balancier J. Butcher, New-York.

Année 1901.

20707. Cabinet forme colonne pour horloge électrique Col. David Perret, Neu-châtel.
20860. Uhr mit elektrischem Betrieb Georges Hummel, Mu-nich.
20948. Selbständige elektrische Uhr Max Höeft, Berlin.
20949. Stromschluseinrichtung an selbstän-digen elektrischen Uhren Max Höeft, Berlin.
20950. Elektrische Weckervorrichtung an Uhren H.-G. Schmidt, Kirtof.
21043. Verschiebbarer Zeigerkontakt an Uhren H. Hansen, Norden.
21563. Horloge électrique F. Holden et A.-S. Gar-field, Londres-Paris.
21801. Poussoir électro-magnétique perfec-tionné H. Campiche, Genève.

Année 1902.

23034. Elektrische Uhr H.-E. Anderson, Stock-holm.
23213. Mouvement d'horlogerie avec dis-positif de remontage électrique A.-E. Lebert, Paris.
23648. Mécanisme pour horloge électrique réceptrice H. Campiche, Genève.
23763. Perfectionnement aux mouvements d'horlogerie à commande électrique. A. Lugrin, Orient.
24022. Horloge à commande électrique.... Cie p^r la fabr. d'com-peteurs et matériel d'u-sines à gaz, Paris.
24121. Elektrische Schlaguhr Max Möller, Altona.
24342. Stromschlusvorrichtung an elektrischen Antriebsvorrichtungen für elek-trische Uhren, Elektrizitätszähler und dergl Max Möller, Altona.
24343. Neuerung an elektrischen Uhrenan-lagen bei welchen die Ströme zur Betätigung der Nebenuhren durch einen von der Hauptuhr betätig-

- baren Magnet - Induktor erzeugt
werden Actiengesellschaft Ma-
gneta, Zurich.
24344. Neuerung an selbststromerzeugenden
magnetelektrischen Zentraluhren... Actiengesellschaft, Ma-
gneta, Zurich.
23445. Anker an polarisierten Elektroma-
gneten für Wechselstrom-Nebenuh-
ren..... Actiengesellschaft Ma-
gneta, Zurich.

Année 1903.

24916. Horloge électrique Ch. Féry, Paris.
25162. Horloge électrique O. Axel En Holm,
New-York.
26290. Uhr mit elektrischem Aufziehwerk.. J. Butcher, New-York.
26707. Dispositif moteur d'un mécanisme
de sonnerie dans une horloge élec-
trique secondaire à minutes M. Robert-Maret, Neu-
châtel.
27554. Pendule électrique J.-A. Carruthers, St-
Jâmes.
27555. Installation électrique pour la trans-
mission de l'heure Colonel D. Perret, Neu-
châtel.

Année 1904.

27960. Chronomètre électrique de marine. H.-A. Campiche, Ge-
nève.
28111. Durch periodische Stronimpulse in
Funktion erhaltbare elektrische Re-
guliereinrichtung an mechanischen
Uhrwerken mit auf Voreilen adjus-
tierten Gang Actiengesellschaft Ma-
gneta, Zurich.
28112. Elektrische Nebenuhr J.-W-H. Uyttenbogaart
Utrecht.
28250. Pièce d'horlogerie avec dispositif d'é-
clairage électrique M. Voirol-Briod,
Bienne.
28686. Horloge à remontage électrique R.-C. Heller, Paris.

29073. Installation à horloge centrale pour indiquer l'heure simultanément en plusieurs endroits éloignés les uns des autres et à sonneries pour appels automatiques à heures prédéterminées L. Agostinelli, Terni.
29074. Horloge avec dispositif électrique pouvant servir à actionner des sonneries ou un dispositif de contrôle J. Werner et J. Olsen, Anvers.
29077. Vorrichtung für Wand- und Stockuhren zum Auslösen von elektrischen und Federzug-Läuterwerken A. Kopp-Lambert, Arbon.
29325. Stromwechsel-Nebenuhr Actiengesellschaft Magneta, Zurich.
29832. Installation électrique pour la transmission de l'heure Colonel D. Perret, Neuchâtel.
29980. Relais Hauptuhr Siemens-Schuckert-Werke, Berlin.
30224. Hauptuhr mit von derselben betätigter elektrischer Nebenuhr N. Stoitcheff, Burgas.
30759. Récepteur électrochronométrique silencieux Société des Établissements Henry Lepaute, Paris.
30900. Remontoir électrique perfectionné pour pièces d'horlogerie Peyer, Favarger & C°, Neuchâtel.

Année 1905.

31054. Horloge électrique G. - S. Tiffany, New-York.
31055. Stromschlusvorrichtung an elektrischen Pendelwerken American Electrical Novelty, Berlin.
31198. Dispositif de contact aux horloges électriques Svenska Elektriska Ur-fabriken, Stockholm
31199. Horloge avec dispositif pour le

- remontage automatique de celle-ci
au moyen d'un moteur électrique .. G.-D. Barile, Biella.
32059. Dispositif de remontage électrique
des appareils d'horlogerie à poids
moteur J.-B.-J. Sallin, Paris
33700. Pièce d'horlogerie à remontage électri-
trique automatique Steiger et Besançon,
Chaux-de-Fonds.
33815. Pendule avec dispositif électromagnétique pour le réglage de sa
marche C. Vigreux et L. Brillé,
Levallois-Perret.

Année 1906.

34504. Hauptuhr für elektrische Uhrenan-
lagen G.-B. Bowell, Londres.
34777. Uhr mit elektrischer Weckeinrich-
tung K. Keusen, Thoune.
35845. Elektrische Sekundäruhr G.-B. Bowell, Londres.
35846. Dispositif de remontage électrique
automatique du poids moteur d'un
mouvement d'horlogerie Steiger et Besançon,
Ch.-d.-Fonds.

Année 1907.

36946. Zum Betrieb von Nebenuhren, etc.
mittelst Extraströmen dienende elek-
trische Hauptuhr F. Schneider, Langen-
feld.
37142. Stromschlussvorrichtung für elek-
trische Uhren mit schwingendem
Anker C. Schwan, Berlin.
37372. Dispositif de remontage électrique
automatique d'au moins un bâillet
moteur d'une pièce d'horlogerie.... Steiger et Besançon,
Ch.-de-Fonds.
37373. Mécanisme simplifié de commande
des aiguilles d'une pièce d'horlogerie
par un électro-aimant L. Grisel, Chaux-de-
Fonds.
37912. Einrichtung zur Fernbetätigung
von elektrischen Uhren mittelst

- elektrischer Wellen..... Dr M. Reithoffer et
V. Morawetz, Wien.
37913. Uhr mit Einrichtung zur Beleuchtung des Zifferblattes..... H. Wolf & K. Broch, Haan.
38241. Auzugsvorrichtung für elektrische Uhren Willy Strauss, Genève.
38242. Elektrische Uhr T.-B. Powers, New-York.
38483. Aufzugsvorrichtung für elektrische Uhren..... Willy Strauss, Genève.

Année 1908.

40500. Vorrichtung zum elektromagnetischen Aufziehen von Triebwerken, insbesondere solchen für Uhren Max Möller, Altona.
41032. Appareil électro-magnétique à bobine mobile particulièrement applicable à l'horlogerie C. Vigreux et L. Brillé, Levallois-Perret.
41144. Elektrische Uhr F. Schneider, Fulda.
41298. Elektrisches Schlagwerk an Uhren.. Max Möller, Altona.
40897. Horloge électrique secondaire..... Steiger & Besançon, Chaux-de-Fonds.

Année 1909.

43347. Elektromagnetische Aufziehvorrichtung für mit Triebwerken ausgerüstete Apparate One Year Electric Clock Co. Grundke & Lazarus, Berlin.
43796. Pièce d'horlogerie avec mécanisme de remontage électrique Steiger & Besançon. Chaux-de-Fonds.
43950. Moteur électrique pour mouvement d'horlogerie Soc. genev. d'instr. de physique, Genève.
44119. Mit elektrischem Motor betriebenes Uhrwerk..... F. Kirchofer, Lörrach.

44120. Horloge électrique réceptrice David Perret fils, S. A.
Neuchâtel.
44121. Vorrichtung zum Umwandlung von
Wand-oder Standuhren mit Feder
oder Gewichtsantrieb in Uhren mit
elektrischem Antrieb A. Anders, Charlotten-
burg.
44250. Chronoscope Rodolphe Schulze,
Leipzig.
44549. Dispositif électrique pour le remon-
tage automatique des horloges de
tour..... J.-G. Bær. Sumiswald.
45347. Schaltung zum Antrieb von elek-
trischen Uhren oder andern anzu-
treibenden Apparaten Aktiebolaget L.-M.
Ericsson & C°.,
Stockholm.
45521. Schaltung zum Antrieb elektrischer
Nebenuhren Aktiebolaget L.-M.
Ericsson & C°.,
Stockholm.

Année 1910.

46460. Elektrischer Apparat zur periodis-
chen Betätigung eines Räderwerkes. W. Vetter & C. Muller,
Hagen i/W.
46733. Selbsttätige elektrische Aufziehvor-
richtung an Uhren mit Federtrieb-
werken F. Borgers, Hérisau.
47146. Elektrische Uhr F. Scheneider, Fulda.
48247. Elektrische Nebenuhr mit perma-
nentem Magnet Allgemeine Elektri-
täts-Gesellschaft
Berlin.
49641. Kontaktvorrichtung für elektrische
Uhrschlagwerke M. Berger.
48620. Dispositif pour le remontage élec-
trique d'un mouvement d'horlogerie C.-F.-A. Sturts.
46733. Selbsttätige electrische Aufziehvor-
richtung an Uhren mit Federtrieb-
werken C.-F.-A. Sturts.

Année 1911.

52581. Federzughuhr mit Schlagwerk, dessen Schlagmechanismus unmittelbar und gleichzeitig mit der Auziehvorrichtung der Zugfeder des Uhrwerkes vermittelst eines Elektromotors betätigt wird..... Dynamos S.-A. Cluses.
52582. Vorrichtung zum periodischen Schließen, bezw. Oeffnen des Stromkreises an Uhren mit elektromotorischer Aufzichvorrichtung Dynamos S.-A. Cluses.
52753. Stromschlussvorrichtung an Uhren, insbesondere Turmuhren mit elektromotorisch angetriebenen Geh-und Schlagwerk Dynamos S.-A. Cluses.
53107. Dispositif aux horloges à remontage automatique par moteur électrique, destiné à fermer et à ouvrir alternativement le circuit du moteur électrique de remontage..... Dynamos S.-A. Cluses.

Année 1912.

54881. Horloge électrique F. Holden.
53619. Elektrische Schaltvorrichtung an Pendeluhrn zum Betrieb von Nebenuhren M. Berger.
57812. Horloge électrique The Electro-Clock Company, Baltimore.
58028. Horloge électrique secondaire à armature polarisée..... Ch. Pons, Hirson.
55986. Horloge électrique P.-A. Bentley.

Année 1913.

- 58460, Elecktrische Pendeluhr Universaluhr Ges., Schöneberg.
58461. Dispositif de sonnerie d'horloge électrique H. Campiche, Genève.

59704. Uhrwerk mit elektromagnetischer Aufziehvorrichtung National Watch Co., Constance.
61486. Empfangsvorrichtung zum Betrieb elektrischer Uhren durch elektrische Wellen F. Schneider, Fulda.
61742. Uhr mit elektrisch erzeugter konstanter Federspannung N. et O. Friedmann, Budapest.
63624. Stromschlussvorrichtung an elektrischen Uhren F. Bruno, Zurich.
61026. Propulseur destiné à donner une impulsion à un organe mobile d'un appareil H.-A. Campiche, Genève.
61027. Neuerung an elektrischen Uhren.... A. Jabs, Zurich.
61028. Neuerung an Hipp'schen Kontakten von elektrischen Pendeluhren..... A. Jabs, Zurich.
58721. Elektrisches Laufwerk R.-L. Lowne, Catford.
58953. Uhr mit elektrischem Aufzug..... Elektro-Mechanik, Berlin.
59456. Stromschlussvorrichtung an elektrischen Aufzügen für Uhren und Federtriebwelke F. Sauter, Grindelwald.
63624. Stromschlussvorrichtung an elektrischen Uhren F. Bruno, Zurich.
63625. Einrichtung zur Kontrolle elektrischer Nebenuhren Allgemeine Elektricitäts-Gessellschaft, Berlin.
60348. Mouvement d'horlogerie à remontage électrique T. Rushton, Londres.
60816. Kontaktvorrichtung an elektrischen Pendeluhren. A. Jabs, Zurich.
61967. Dispositif interrupteur automatique aux pièces d'horlogerie à remontage automatique par moteur électrique rotatif..... J. Steiger, Besançon.

Année 1914.

66352. Pendule à sonnerie C.-E. O'Keenan, Paris.
 66353. Installation de distribution électrique de l'heure C.-E. O'Keenan, Paris.
 65172. Mouvement d'horlogerie avec dispositif pour la remise automatique à l'heure au moyen de signaux radiotélégraphiques E. Darras, Paris.
 66772. Mécanisme d'horlogerie à remontage électrique Clerc Co, Paris.

Année 1915.

68525. Mouvement d'horlogerie électrique . The Coventry Electric Clock, Londres.
 72654. Horloge à remontage automatique par moteur électrique F. Guye, Neuchâtel.

Année 1916.

73483. Elektrisch betriebene Hauptuhr mit Minutenstromwechselkontakt..... R. Valentin, Krieglach.
 69990. Uhr mit elektrischem Aufzug E. Benzing, Schwenningen.

Année 1917.

75565. Elektrische Uhr O. Türke, Biel.
 76114. Chronoscope électrique E. Dégallier, Genève.
 76710. Elektrische Schaltuhr für mindestens zwei verschiedene Stromkreise mit unabhängig voneinander beliebig einstellbaren Schaltzeiten Fr. Sauter et O. Borel, Bâle.

Année 1918.

78441. Installation électrique pour la distribution de l'heure à des instruments récepteurs, indicateurs ou enregistreurs J. Abegglen et A. Wälti, Neuchâtel.
 78821. Installation électrique pour faire

- signaler, par un appareil récepteur,
les oscillations d'un mobile à mou-
vement périodique Fabr. des Montres Zé-
nith, Le Locle.
79676. Elektrische Uhr W. Alldis, Longhton.
77270. Horloge secondaire électrique Favarger C°, Neuchâtel
79362. Dispositif de commande de roue
 primaire de pendule électrique Tavannes W. C°, Ta-
 vannes.
- 78746 (78710). Elektrische Schaltuhr für
 mindestens zwei verschiedene Strom-
 kreise mit unablässig voneinander
 einstellbaren Schaltzeiten Fr. Sauter et O. Borel,
 Bâle.
- 78477 (76710). Elektrische Schaltuhr für
 mindestens zwei verschiedene Strom-
 kreise mit zeitlich abhängig vonei-
 nander einstellbaren Schaltzeiten... Fr. Sauter et O. Borel,
 Bâle.

Année 1919.

81476. Anordnung an elektrischen Haupt-
 uhren P. Andersen, Taastrup.
83717. Installation de distribution de l'heure
 à distance A. Épitaux, Locle.
82999. Durch umlaufenden Motor zeit-
 weilig angetriebene Nebenuhr Siemens et Halske A.-G
 Berlin.
83718. Anordnung bei elektrischen Neben-
 Uhren P. Andersen, Taastrup.
81149. Steuervorrichtung für elektrische
 Motoraufzüge bei Uhr- und Laufwer-
 ken..... Fr. Sauter, Bâle.
83905. Horloge à remontage automatique
 par moteur électrique G. Guye, H. Borel et
 H. Ramseyer, Neu-
 châtel.

Année 1920.

85603. Dispositif moteur magnétoélectrique F. Holden, Paris.
85422. Vorrichtung zum selbsttätigen Nach-

- stellen von Nebenuhren Siemens et Halske A.-G.
Berlin.
86046. Schaltuhr, bei der die Schaltung
durch Lösung der Sperrung eines
Laufwerkes oder Schaltwerkes er-
folgt..... Aron Elektricitäts-Ge-
sellschaft, Charlottenburg.
86221. Horloge à remontage électrique..... O. Testuz, Grandvaux.
86222. Elektrische Antriebsvorrichtung ... Landis et Gyr A.-G.,
Zug.
86410. Vorrichtung zum Kontaktschliessen
bei elektrischen Uhren..... P. Andersen, Taastrup.
87220. Elektromechanisches Gehwerk für
Chronometer J. Jamin, Rotterdam.
- 85331 (81149). Steuervorrichtung für elec-
trische Motoraufzüge bei Uhr-und
Laufwerken Fr. Sauter, Bâle.

Année 1921.

89081. Installation à horloge-mère pour la
commande à distance d'appareils
secondaires tels que compteurs
d'électricité à double tarif, horloges
pour distribution d'heure, etc... par
courant électrique à basse tension .. Fab. Montres Zénith,
Le Locle.
89728. Elektrische Uhr A. Weinmann, Zurich.
90346. Horloge électromagnétique M^{me} M. Moulin et
P. Favre-Bulle, Bou-
logne-sur-Seine.
90347. Elektrische Anlage zum Betriebe von
Nebenuhren oder Signalen Magneta A. G., Zug.
90990. Horloge de contrôle. Plan S.-A., Neuchâtel.
92438. Installation pour rétablir périodi-
quement la concordance d'au moins
une horloge avec une horloge prin-
cipale International Time Re-
cording Cy, New-
York.

- 89375 (66353). Installation de distribution électrique de l'heure E. O'Keenan, Paris.
 91092 (89728). Elektrische Uhr A. Weinmann, Zurich.
 89277. Appareil récepteur électrique destiné à marquer le temps P. Ditisheim, Chaux-de-Fonds.
 89980. Horloge de contrôle Plan S.-A. Neuchâtel.
 90743. Horloge à commande par un poids moteur The Coventry Electric Clock Co, Londres.

Année 1922.

95694. Dispositif à balancier pour marquer les heures A. Blanchard, Genève.
 96902. Mécanisme d'horloge électro-magnétique P. Favre-Bulle, Boulogne-sur-Seine.
 98115. Installation électrique pour la transmission synchrone d'un mouvement de rotation, notamment pour la distribution de l'heure P. Favre-Bulle, Boulogne.

Année 1923.

98836. Pièce d'horlogerie électrique, applicable en particulier aux automobiles F. Barbezat, Chaux-de-Fonds.
 99324. Synchonmotor für den elektrischen Antrieb von Uhrwerken R. Michl, Kosice.
 103923. Mécanisme de sonnerie électrique d'horloge et d'autres pièces d'horlogerie M. Mambretti, Biennie.
 99987. Dispositif interrupteur de courant dans les horloges à remontage automatique A. Strahm et H. Ramsyeyer, Herbetswil.
 100995. Mécanisme de remontage automatique d'horloge à poids R. Annen, St-Imier.

101210. Dispositif à contact électrique dans les horloges dont le remontage est effectué automatiquement au moyen d'un moteur électrique rotatif..... F. Guye, Yrum.
101447. Mouvement de montre à remontage électro-magnétique Favarger & C^{ie}, Neuchâtel.

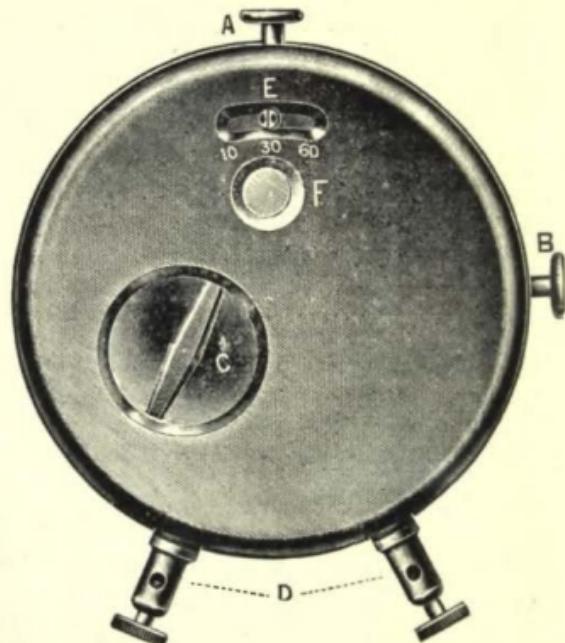
Année 1924.

- 107904 Horloge-mère influencée par des ondes électriques, pour l'actionnement d'horloges secondaires électriques.. F. Schneider, Fulda, Allemagne.
107905. Horloge électrique C. E. Prince, Berkshire Grande-Bretagne.
108305. Appareil à mesurer le temps..... D. Newth and O. Newth Sydney, Australie.
106261. Horloge secondaire..... E. Bonnet, Neuchâtel.
- 104715 (89277). Appareil récepteur électrique destiné à marquer le temps ... Paul Ditishheim, Chaux-de-Fonds.
105749. Remontoir électromagnétique pour horloges et rouages..... F. R. Sauter A. G. Bâle.
105750. Mécanisme de remontage automatique électromagnétique pour mouvement d'horlogerie..... Favarger C^o, Neuchâtel.
107664. Remontoir électrique pour horloges E. Fahrzeug-u. Uhren-A. G., Berlin.
108111. Mouvement d'horlogerie à remontage électrique Les Fils de L. Braunschweig, Chaux-de-Fonds.

James Jaquet S. A.

Fabrique de Chronométrie scientifique
— et Mécanique de précision —

Bâle (Suisse) - Saint-Louis (H.^r. Rhin - France)



Montres et Compteurs pour Laboratoires
pour Interruptions électriques
Enregistreurs

Indicateurs de vitesse

Tachygraphes

Tachymètres

Catalogues sur demande

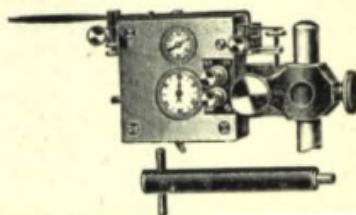


TABLE DES MATIÈRES

Préface de Léopold Reverchon	v
Préface de Ch. Poncet	xI
Introduction	xIII

Première Partie. — Notions Théoriques

CHAPITRE PREMIER

Qu'est-ce que l'électricité ?.....	3
La pile et le courant électrique.....	5
La mesure des courants.....	10
Force électro-motrice	11
Résistance des conducteurs	13
Intensité de courant.....	15
Loi d'ohm	17

CHAPITRE II

La pile	19
La pile de l'horloger	22
Pile sèche ou pile humide	26
Couplage des piles.....	27
Groupement des appareils	32
Calcul du nombre d'éléments.....	37

CHAPITRE III

L'aimantation	39
Attractions et répulsions	44
L'électro-aimant	46
Formes, dimensions et calcul d'un électro-aimant.....	47

Électro-aimant cuirassé	61
Électro-aimants à action étendue, bobines et plongeurs	62
Électro-aimants à courant alternatif	66
Armatures neutres et polarisées	67
La désaimantation	67

CHAPITRE IV

L'induction	71
Les courants de Foucault	75
Le moteur électrique	79

CHAPITRE V

L'étincelle nuisible.....	83
Moyens d'éviter l'étincelle	86
La question des contacts	92
Le relais	96

CHAPITRE VI

Les instruments de mesure	98
Emploi du voltmètre et de l'ampèremètre	104

Deuxième Partie. Les applications.

CHAPITRE VII

Généralités sur les horloges électriques.....	109
Applications de l'électro-aimant aux mécanismes d'horloge	114
<i>Horloge à remontage automatique Vve David Perret fils.....</i>	114
<i>Horloge à remontage automatique Norma-Zeit</i>	116
<i>Horloge réceptrice Vve David Perret fils, 117 et 175</i>	

<i>Horloge réceptrice A. Favarger & Co., à Neuchâtel.....</i>	119
<i>Horloges réceptrices A. Favarger & Co., à Neuchâtel.....</i>	122
<i>Horloge réceptrice Th. Wagner (sys- tème Grau).....</i>	125
<i>Sonnerie électrique système Max Möl- ler.....</i>	127
<i>Horloge à remontage automatique, sys- tème Schweizer modifié.....</i>	129

CHAPITRE VIII

<i>Applications de l'électro-aimant et du solénoïde au pendule</i>	133
--	-----

<i>Pendule Hipp</i>	133
<i>Pendule à frein automatique système Favarger</i>	141
<i>Pendule électro-magnétique de M. Bau- mann</i>	149
<i>Pendule électrique Siemens-Schuckert- Werke</i>	151
<i>Pendule à restitution électrique cons- tante de M. Ch. Féry.....</i>	153
<i>Pendule sans lien matériel de M. Ch. Féry.....</i>	155
<i>Pendule électrique ATO.....</i>	157
<i>Pendule électrique Ch. Poncet et Ch. Pons.....</i>	158
<i>La synchronisation des pendules.....</i>	161
<i>Horloge électrique Zenith-Calora.....</i>	164

CHAPITRE IX

<i>Applications du moteur électrique.....</i>	168
<i>Horloge-mère de la Société « Magneta ».....</i>	169 et 180
<i>Horloge à remontage électrique de la Société « Silentia ».....</i>	171

<i>Horloge réceptrice de la Société « Silentia »</i>	173
<i>Adjonctions : Horloge réceptrice David Perret</i>	175
<i>Pendules de commutation de la Société genevoise d'instruments de physique .</i>	176
<i>Horloge-mère Magneta</i>	180
<i>Étincelles aux contacts électriques des horloges</i>	182
 CHAPITRE X	
<i>Liste des brevets délivrés en Suisse de 1889 à 1924 concernant les applications de l'électricité aux appareils à mesurer le temps</i>	183

Les brevets d'invention, pour être valables, ne souffrent pas la médiocrité ou l'inexpérience d'un agent.

INVENTEURS,

ne remettez le soin de vos intérêts qu'en mains d'un agent de brevets présentant toutes les garanties d'honorabilité, de capacité professionnelle et de longue expérience.

BOVARD & C^{ie}

Direction technique : F. BOVARD

Ing., ancien Expert au Bureau suisse de la Propriété intellectuelle ci-devant co-propriétaire et directeur de la maison MATHEY-DORET & C^{ie}

Ingénieurs-Conseils

15, Boulevard Extérieur, BERNE (Suisse)

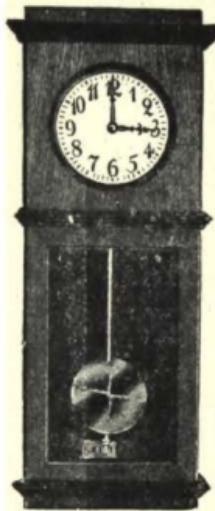
TABLE DES ANNONCES

Société genevoise d'Instruments de Phy-	
sique, Genève	couverture
Fabriques des montres <i>Zenith</i>	<i>1^{re}</i> page de garde
J. Knoepfler, Le Locle	<i>2^e</i> page de garde
André Schneider, La Chaux-de-Fonds....	—
Compteurs électriques Chasseral, S. Imier	IV
Etablissements Hatot, Paris	IX
Piles sèches Hellesens, Berne	X
Favarger et C ^{ie} , S. A., Neuchâtel	XVI
Fabrique Claireton, Berne	182
Fabrique Vermeil, St-Aubin	182
Bovard et C ^{ie} , Berne	204
E. Bonnet, Neuchâtel	206
Galvano, Créminal	206
Brotbeck et Mathys, Bienne	207
Fabrique nationale de spiraux. La Chaux-de-Fonds	208
Fabrique Mikron, Bienne	<i>3^e</i> page de garde
Vital Liechti, Le Locle	—
Bibliothèque Horlogère	<i>4^e</i> page de garde
Magneta S. A., Zoug	couverture
Leclanché, S. A., Yverdon	couverture

————— ** —————

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE PERFECTIONNÉE

PRÉCISION - RÉGULARITÉ - SURETÉ



Horloges mères, secondaires, à signaux

*RELAI à contact retardé
par frein pneumatique réglable*

Horloges de clocher

avec ou sans sonnerie

Automates, Horloges

et

Enseignes

pr réclame lumineuse

Appareils électriques

Mouvements

en tous genres



E. BONNET, Ingénieur, NEUCHATEL (Suisse)

• • ÉTABLISSEMENT GALVANO • •

H. HUNZIKER

CRÉMINES, Jura Bernois (Suisse)

Nickelages en tous genres

pour Horloges électriques,

Pendules électro-magnétiques,

T. S. F.,

et Appareils électriques.

Travail prompt et soigné

— Prix modérés



BIENNE

Nous nous recommandons pour la livraison de toutes les pièces détachées, ainsi que pour les appareils complets, premières marques :

Lampes de toutes sortes, fils, cordons, fils de bronze tressés, ébonite de toutes dimensions, schémas de montage, les modèles les plus récents du plus simple jusqu'au Superhétérodyne, ainsi que tous les accessoires au prix du jour. Accumulateurs, batteries d'anodes, redresseurs de courant ; étant les plus actuels, ces redresseurs de courant remplacent la batterie d'anodes et travaillent directement sur courant alternatif.

Construction d'antennes. Conseils techniques et Devis gratis

**Tout matériel pour la construction des antennes
par l'amateur lui-même**

Nous recommandons spécialement le poste à réglage automatique

Fabrique NATIONALE DE SPIRAUX

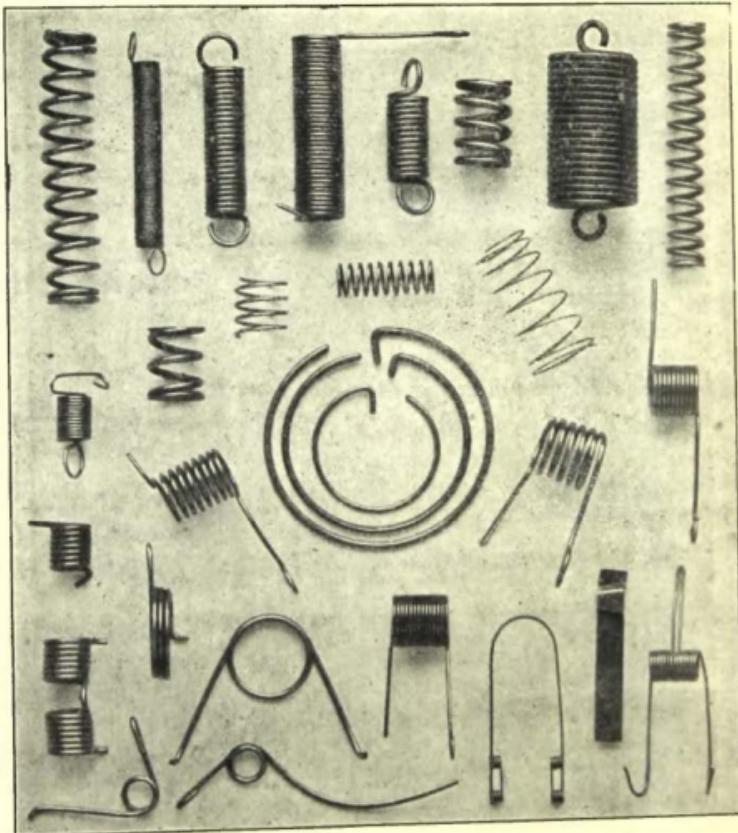
S. A.

LA CHAUX-DE-FONDS (Suisse) - Rue de la Serre, 106

Adresse télég. : Nationalspiraux Chaux-de-Fonds — TÉLÉPHONE 7.59

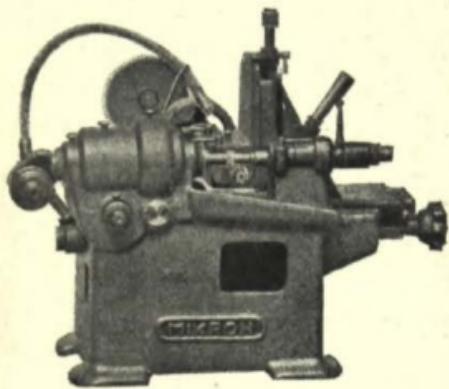
SPIRAUX en tous genres, de toutes formes et de tous métaux pour l'Industrie Horlogère, Mécanique et Electro-technique.

SPÉCIALITÉ DE RESSORTS à boudin, de forme conique, etc., en tous genres, de toutes formes, et en tous métaux, pour l'Industrie Mécanique et Electro-technique.



MIKRON

FABRIQUE DE MACHINES
- S. A. BIENNE -



Machines à tailler par génération

Machines modernes pour la fabrication de l'ébauche

Tours et Fraiseuses d'outilleur

ÉLECTRICITÉ



— TOUT —
ce qui concerne
l'ÉLECTRICITÉ

Lumière - Force
Sonneries
Téléphones officiels
et privés
Accessoires T. S. F.
Lampes, etc.

Vital LIECHTI

Téléphone 3.48 Jeanrichard, 33, LE LOCLE

BIBLIOTHÈQUE HORLOGÈRE

Éditeur : E. MAGRON, Bienne

Horlogerie théorique. — Cours de mécanique appliquée à la Chronométrie par feu *Jules Grossmann* et son fils *H. Grossmann*, avec *Préface* de *E. Caspari* et cinq *Portraits*. — 2 volumes reliés.

Formulaire technique pour l'horlogerie et la petite mécanique. — Nouvelle édition revue et augmentée par *E. Jaquet*.

Fabrication mécanique de la montre, par *W. Favre-Bulle*, en 3 tomes. — Tome I : *Le calibre*, (2^e édition). — Tome II, *Division et organisation du travail*. — Tome III : *L'ébauche*.

Le réglage de précision. — Cours pratique et éléments théoriques, par *C. Billeter*, (2^e édition revue et augmentée).

Les organes réglants des chronomètres, par *J. Andrade*.

Mécanismes et organes moteurs de la montre, par *A. Berner*, 2^e édition.

Barème et Guide pratique pour le taillage des engrenages d'horlogerie, pendulerie, compteurs, etc., par *G.-A. Berner*.

Les engrenages droits cycloïdaux et à développante, par *Edm. Dégallier*.

Le ressort de montre au point de vue de ses dimensions, avec graphique contenant deux Tables de calculs, par *Edm. Dégallier*.

Le balancier et le ressort-moteur, par *Edm. Dégallier*.

Évaluation de la qualité d'une montre, par *Edm. Dégallier*.

Le classement des montres selon la qualité, par *Edm. Dégallier*.

Le Chronographe et ses applications, par *H. Chaponnière*.

La montre normale. Essai, par *F. Montandon*.

Historique et Technique de la montre Roskopf, par *Eug. Buffal*.

La boîte de montre et sa fabrication, par *L. Trincano*.

Guide du monteur de boîtes et du fabricant d'horlogerie, par *Arnold Kohly*, 2^e édition.

Théorie de la boîte et traitement des métaux précieux, par *W. Heger*.

Procédés chimiques pour l'horlogerie et la bijouterie, par le Dr *A. Steinmann*.

Les Aciers-Nickel et leurs applications à l'horlogerie, par *Ch.-Ed. Guillaume*.

L'appareillage électrique pour le contrôle et l'observation des montres, par *A. Walli*.

Nouveautés en électro-chronométrie, par *A. Wälti*, ing.

Théorie et emploi de la filière à réglettes, par *P. Berner*.

Les pierres fines et leur préparation pour l'horlogerie, par *L. Trincano*.

Agenda horloger 1926, XXII^e année.

Guide commercial à l'usage des fabriques d'horlogerie et industries connexes, par *L. Jacot-Colin*, (2^e édition de la *Comptabilité horlogère*).

Archives de l'horlogerie, 1^{re} partie : *Marques suisses et internationales*, onze volumes parus, avec continuation par fascicules annuels. Demander prospectus spécial.

Terminologie horlogère française-anglaise, par *Edward Heaton*, 4^e édit.

Idem française-allemande, par *E. Heaton et J. Traugott*.

Dictionnaire français-allemand-anglais pour l'horlogerie. — Deutsch-französisch-englisches Wörterbuch f. Uhrmacher. — Horological Dictionary.

Les Écoles professionnelles de France, par *Ch. Perregaux*, avec 20 vues dans le texte.

SONO

Horloges Électriques MAGNETA



**Les seules sans piles
sans contact
sans entretien**

Les plus économiques

Demandez nos prospectus

MAGNETA (Suisse) S. A.
— ZOUG —

Jeanne Müller
6.83



PILES ÉLECTRIQUES EN TOUS GENRES

Batteries de Piles sèches et humides
à haute tension pour T. S. F.

NOUVELLE BATTERIE de PILES

3 à 6 volts de grande capacité,
remplaçant les accumulateurs pour
chauffage du filament

CONDENSATEURS ÉLECTRIQUES pour toutes les applications

*Exigez les piles suisses "LECLANCHÉ"
les premières fabriquées et toujours les premières*