

ÉDITÉ PAR
„INVENTIONS - REVUE“
LA CHAUX-DE-FONDS
(SUISSE)

INITIATION
DE
L'HORLOGER
A
L'ÉLECTRICITÉ
ET A SES
APPLICATIONS

PAR
ALBERT BERNER
RÉDACTEUR A INVENTIONS-REVUE

PRÉFACE DE
L. REVERCHON
PARIS

Préface



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 eut connu l'électricité.

L'horloger au contraire, le plus audacieux, le plus tranchant, celui qui affirme du ton le plus péremptoire, quelque fois même avant de l'avoir regardée, qu'une montre a un pivot faussé 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 », un domaine semé de chausse-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'Électricité (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 confié 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 feuilletton.

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 cette Initiation des horlogers 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 initié 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 entrouvre 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'élec-

tricité et de ne dire que les choses essentielles, ne pouvait s'égarer 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 fut loin d'avoir atteint la précision qu'elle a acquise en ces dernières années, il était déjà 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 suivis 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.

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS THÉORIQUES

Introduction



Lorsque apparurent les premières horloges électriques, l'horloger haussa les épaules et ne voulut pas en entendre parler.

A ce moment-là, son indifférence avait des raisons. Les premières applications de l'électricité aux mécanismes d'horlogerie ne furent pas heureuses. Imperfections du mécanisme, imperfections de la pile, ignorance de l'horloger, 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 de beaucoup 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.

Les chercheurs du mouvement perpétuel ont-ils jamais fait mieux ?

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 déclenchements 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.

Il est un fait que, lorsqu'un horloger saisi d'un bon mouvement ouvre un traité d'électricité, il y trouve des mots peu engageants : *voltage*, *ampérage*, *différence de potentiel*, *extra-courant*, *polarisation*, *induction*, etc. . . Il regarde ces noms avec autant de sympathie qu'un profane du latin n'en montre pour les inscriptions dont s'illustrent les innombrables bocaux des pharmaciens ! Bref, l'électricité, ses lois, ses applications lui paraissent un met 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'attraits, 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 phénomènes 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*, de M. A. Favarger, ingénieur à Neuchâtel, et *Horloges mères et installations horaires*, de M. Ch. Poncet, Dr de l'Ecole 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.

A. BERNER.

•

•

•

CHAPITRE I.

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. Cette question nous en rappelle une autre à laquelle un brave homme fit une réponse qui ressemblera, hélas, beaucoup à celle que nous vous donnerons.

Il s'agissait d'une conférence, d'une de ces conférences contradictoires où croyants et athées se disputent la vérité.

L'orateur, avec un geste large, posa aux hommes de science une question et en même temps un défi : « Vous qui expliquez tout, clama-t-il, répondez-nous, qu'est-ce que la matière?... »

Un auditeur trouva la question ridicule ; comme si l'on ne savait pas ce qu'est la matière ; mais la matière c'est ça, en voilà de la matière, et le brave voisin, indigné par tant de simplicité, palpitait avec conviction sa canne et son chapeau... de la matière assurément !

Nous sommes tenté de vous répondre aussi mais, l'électricité, pardi, c'est l'électricité, que voulez-vous de plus !

Si cette vérité ne vous suffit pas, aux savants de répondre (nous ne nous en mêlons plus). Ils vous diront : l'Electricité est une forme de l'Energie, un phénomène dû à un mouvement vibratoire ou rotatif de la molécule, comme c'est

le cas pour le Son, la Chaleur, la Lumière. Et ils ont là dessus mille hypothèses ingénieuses qui reposent évidemment sur un édifice considérable de faits, d'expériences, mais qui sont des hypothèses... et vous savez que les hypothèses changent, moins souvent que la mode il est vrai, mais pourtant qu'elles changent.

Il suffit qu'un fait nouveau se produise, et il n'en manque pas au commencement de ce siècle, pour qu'aussitôt les hypothèses chancellent, qu'on y remarque des lacunes : elles n'expliquent plus, il faut les compléter.

Ecoutez plutôt ce fragment significatif d'un discours tenu à l'Académie des Sciences par son président, dans Paris la ville lumière, en l'an de grâce 1900 :

Peut-être, un jour, pourrons-nous comprendre la théorie faite à la fin du XVIII^{me} siècle par le père jésuite Boscovich qui nie *la matérialité de la matière* et ne voit dans les atomes que des centres de forces; à l'heure qu'il est, nous ne savons pas ce qu'est une force et nous commençons seulement à concevoir l'énergie. N'y aurait-il que l'énergie, et la matière ne serait-elle que l'énergie détruite ? Nous entrons là dans un domaine purement métaphysique, où nous garderons bien de nous engager. Notre esprit conçoit des hypothèses pour expliquer des faits que l'expérience nous révèle, mais notre mode d'investigation est bien imparfait, les fenêtres par lesquelles nous regardons sur la nature sont singulièrement étroites, notre oreille ne perçoit que certains sons, notre œil ne voit que certaines radiations, notre infériorité n'est pas moins grande pour les autres sens.

Si la Terre était entourée de nuages, de façon permanente, nous ne pourrions nous figurer ses mouvements, et cependant nous pourrions voir l'expérience du pendule de Foucault; nous distinguerions des saisons, des jours, des nuits. Les relations qui nous unissent avec le monde sont si faibles que nous sommes plongés dans une obscurité presque complète.

Nos instruments se perfectionneront, nos moyens d'investigation augmenteront; mais nous continuerons à voir quelques points seulement sur lesquels notre esprit établira des lois, bâtira des hypothèses chancelantes comme l'est l'œuvre de l'homme; mais, peu importe, la recherche de la vérité n'en restera pas moins l'idéal vers lequel tendra indéfiniment l'effort de l'homme, idéal fuyant toujours vers l'infini.

Notre leçon sur l'électricité débute donc par une leçon de modestie; elle continuera par une ignorance complète sur la vraie nature de notre sujet.

Nous sortirons pourtant de la fâcheuse indécision qui pourrait résulter de cette ignorance et 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. Il n'a fait jusqu'ici que mêler son grondement au son des lointaines clochettes des troupeaux, et provoquer les interjections admiratives du touriste à chapeau tyrolien.

Un ingénieur vient à passer; l'ingénieur n'est pas un poète; le torrent, pour lui, n'est pas un sujet à vers ou à idylles, mais une *Force* qu'il

écrit avec un *F* majuscule, *Force* que la fée électrique va transporter des vallées sauvages dans la plaine, pour le besoin des villes populeuses. Il installe turbines et dynamos. Le torrent sauvage se civilise. Il l'endigue; 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 cables 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, éclipsant 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 « mouve-

ment » de la montre en particulier le chic des « huit reflets ».

En médecine, ses effets sur les muscles et les nerfs élargissent le champ des connaissances médicales (malheureusement, pour être juste, celui de nos maladies aussi, paraît-il).

Enfin, de toute pièce elle crée des industries, des mots nouveaux, tout un monde qu'il est au moins utile d'entrevoir quand ce monde renferme des choses aussi étonnantes que les rayons Røntgen, 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 voir tourner un bouton pour obtenir de la lumière et à s'approcher d'un cornet du téléphone pour converser à des centaines de kilomètres; ces merveilles de hier sont déjà choses communes d'aujourd'hui.

En attendant d'autres découvertes à sensation que des savants de toutes nationalités annoncent incessamment, constatons l'agent incomparablement précieux qu'est l'électricité si nous voulons bien nous souvenir que, dans notre exemple, elle est fournie par une source de force naturelle, par le torrent qui dégringole là-bas parmi les rochers.

Des formes de l'*Energie* entrevues, 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 barillet, etc.

La source d'électricité qui nous occupera sera la pile, la source la plus employée en horlogerie; celle qui, modestement fait tinter, pour sa plus grande gloire, la plupart des sonnettes du monde civilisé et Dieu sait si le monde civilisé en a aujourd'hui !

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 pais-

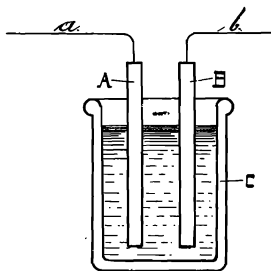


Fig. 1. *Pile électrique.*

sante nous verrons jaillir une petite lueur : c'est *l'étincelle électrique*. 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)

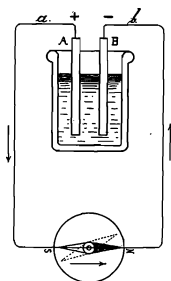


Fig. 2.

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

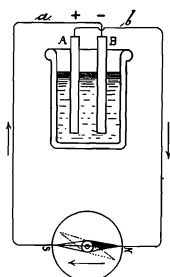


Fig. 3.

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

la même expérience: 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 (—).

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*

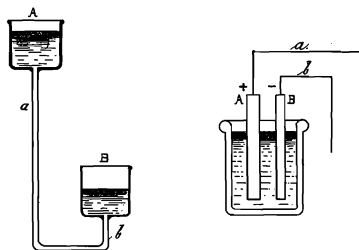


Fig. 4.

*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.*

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.

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 gaine isolatrice. Cette gaine 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 ingénies 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 immergeant 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 dépend 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* est 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° 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° de la résistance qu'oppose le tuyau au passage du liquide ensuite du frottement;

3° 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, unités avec lesquelles 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, dont 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 millièmes 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 employés : *

Horlogerie	1,5 à 3 volts
Sonneries électriques	4 à 8 »
Téléphone	8 à 12 »
Télégraphe	15 à 20 »
Eclairage	30 à 240 »
Cables 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 vous 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.

Les condamnés à mort sont électrocutés en Amérique par une tension de 1840 volts passant au travers du corps pendant une minute, le courant est ensuite progressivement abaissé jusqu'à 200 volts.

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* et *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
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 qui nous conduiraient dans l'éther des physiciens et plus loin encore !

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 construit 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:

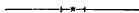
$$I = \frac{E}{R} = \frac{1,6}{10} = 0,16 \text{ ampère}$$

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 ampérage) 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 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 des achats, de l'autre des dépenses, mais jamais de pertes, seulement des transformations, voilà comment se passent les choses non seulement dans votre porte-monnaie, 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); qu'elle 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 supposons 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 $R + r$)

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

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 qu'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 intervals 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

$$I = \frac{1,6}{0,1 + 5} = 0,31 \text{ amp.} \quad \text{avec 5 ohms} \quad I = \frac{1,6}{0,1 + 10} = 0,15 \text{ amp.} \quad \text{avec 10 ohms}$$

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 régulateur (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 à 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 : bioxyde 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 suisse de Piles à Fleurier, qui exploite les brevets Delafon, construit une pile, (Fig. 5) dont la matière dépolarisante (bioxyde



Fig. 5. Pile à zinc circulaire.

de manganèse) est renfermée dans un sac de toile qui entoure un baton 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.

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

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 gélamines préparées spécialement.

Le pile sèche a trouvé deux applications importantes: l'éclairage de poche et sur les voitures automobiles l'allumage du moteur à explosion.

On l'emploie également en horlogerie où elle remplace avantageusement la pile humide sous le rapport de la *commodité* seulement, car il est certain qu'au point de vue de *sécurité* elle n'offre pas encore les garanties de 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.

La pile humide demande un entretien, mais si peu de chose qu'elle mérite malgré cela, la préférence de l'horloger. Elle lui réserve en échange moins de surprises compromettantes pour son travail. Au point de vue économique, les dépenses sont égales ou à peu près.

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.

En attendant, la pile telle que nous l'avons maintenant, est une source motrice précieuse et commode. Grâce à elle, l'horloge électrique peut fonctionner deux ans et davantage sans arrêts. Une fois par année donner un peu d'eau à la pile ou renouveler ses ingrédients valent bien la peine que nécessitent 52 remontages annuels... sans compter les inconvénients des oublis.

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, déclenchements 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) les disposer les uns au dessous des autres.

2) les disposer les uns à côté des autres.

Dans première disposition (fig. 6), nous concevons que les pressions exercées par chacun des réservoirs *A*, *B* et *C* s'ajoutent, que cette

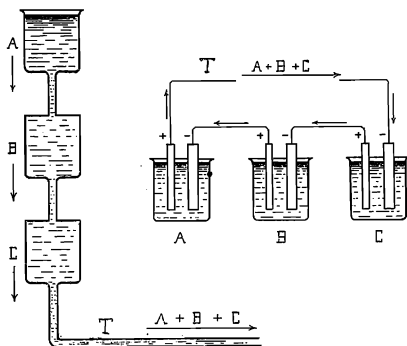


Fig. 6. Couplage en tension.

pression totale, dans le tuyau *T*, sera deux, trois, quatre, cinq fois plus grande suivant que nous aurons deux, trois, quatre, cinq réservoirs dis-

posés 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 avons 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*.

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 résis-

tance intérieure de ces quatre piles couplées en tension ?

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

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

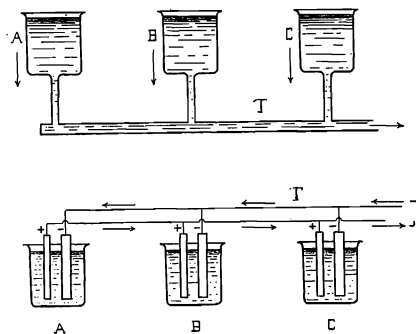


Fig. 7. Couplage en quantité.

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.

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*. 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

Force électromotrice $E = 1,3$ volt

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.

Reprenant 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 :

$$\text{Force électromotrice de chaque groupe} = 1,3 \text{ volt} \times 2 = 2,6 \text{ volts}$$

$$\text{Résistance intérieure de chaque groupe} = 0,3 \text{ ohm} \times 2 = 0,6 \text{ ohm}$$

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 :

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

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

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 la puissance 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.

Tension — Puissance = $5,2 \text{ volts} \times 4,33 \text{ amp.} = 22,5 \text{ watts}$
Quantité — » = $1,3 \text{ »} \times 17,33 \text{ »} = 22,5 \text{ »}$
Mixte. . — » = $2,6 \text{ »} \times 8,66 \text{ »} = 22,5 \text{ »}$

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.

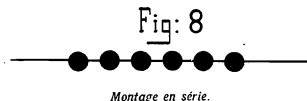
Examinons de quelle façon nous pouvons par exemple grouper 6 horloges à résistance de 100 ohms la pièce et exigeant chacune pour leur fonctionnement un courant de 0,10 ampère.

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° *Montage en tension ou série :*

Dans ce mode de groupement (fig. 8) les horloges sont disposées les unes à la suite des au-



tres ; le courant les traverse 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

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

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

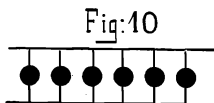
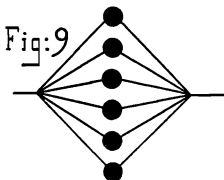
La puissance électrique exigée par nos 6 horloges est donc de $60 \text{ volts} \times 0,10 \text{ amp.} = 6 \text{ watts}$.

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° *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 dérivationes et chaque horloge a son conducteur propre.



Montage en dérivation.

La résistance de l'ensemble se trouve de ce fait considérablement diminuée, elle est égale à celle d'une des horloges, divisée par le nombre des horloges*), soit donc de

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

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

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

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

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

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.

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

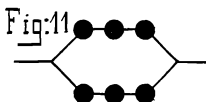
c'est-à-dire la même que pour le montage précédent. Ces deux genres de montage diffèrent entre eux en ce sens que dans le montage en série, la résistance totale augmente avec le nombre des appareils tandis que c'est l'inverse qui a lieu pour le montage en dérivation, plus les dérivations sont nombreuses, 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 né-

gligé 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 18.)

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



Groupement mixte.

fig. 11 qui comprend deux dérivation 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 dérivation, soit de $0,10 \times 2 = 0,20 \text{ amp.}$, 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 grande pour la dernière horloge que pour la 1^{re}, la 2^e, la 3^e, 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.

Etant 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 appelé 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.

Reprenons l'exemple de nos six horloges ; groupées en série, elles exigeaient un courant total 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 6 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 (minéral 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 compliquèrent encore le mystère en remarquant 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* étaient plus proches parents que frères et sœurs.

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.

Etudier 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.

A cette époque, on se passionne pour l'électricité comme on se passionne aujourd'hui pour les « biplans » et les « monoplans ». Les découvertes, aussi nombreuses que les savants, se succèdent sans arrêt.

Notre pile et son fil conducteur vont faire tous les frais d'un petit appareil qui, malgré sa simplicité, va nous initier à quelques-unes de ces découvertes.

Enroulons sur un crayon (fig. 12) une partie du fil ab partant des pôles A et B d'un élément. L'enroulement jugé suffisant, retirons le crayon. Nous aurons ainsi obtenu un segment ed 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 ed ? Apparemment rien, mais si nous y

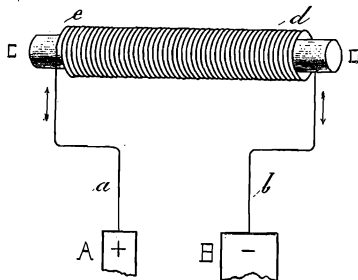


Fig. 12.

introduisons pour un instant une tige d'acier CD , 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 CD identique à la première mais changeons le sens du courant électrique dans le segment cd : 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*.

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 se passe dans notre tige d'acier CD . Nous sentons bien qu'il doit s'agir d'un fluide, d'un *flux de force* invisible. Peut-être pensez-vous un peu aux magnétiseurs, à ce soi-disant fluide qu'ils répandent à profusion par les dix doigts sur la face de leurs patients ? Ne conservons de cette expérience que le geste expressif et, quant au fluide, une feuille de papier et un peu de limaille de fer vont nous permettre de le deviner, autrement qu'avec les yeux de la foi.

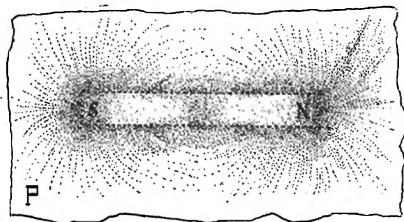


Fig. 13. *Flux magnétique.*

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.

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

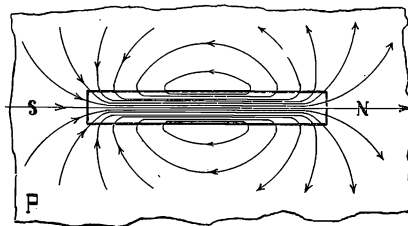


Fig. 14. *Lignes de force.*

l'atmosphère pour rentrer par le pôle Sud *S* et pénétrer en un faisceau par le corps même de l'aimant.

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 *ed*, 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.

Nous voilà quelque peu renseignés sur l'état du barreau aimanté ; il nous reste pourtant à

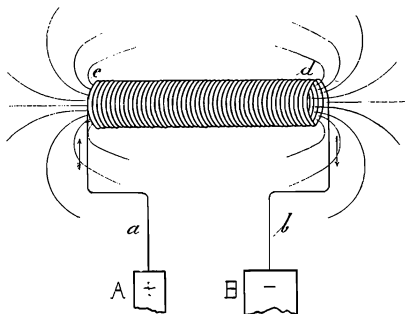


Fig. 15.

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 épanouissement 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 forces de l'aimant *B*, sont la continuation de celles de l'aimant *A*, et comme elles ont la tendance à se

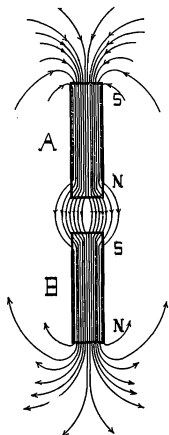


Fig. 16.

Les pôles de nom contraire s'attirent.

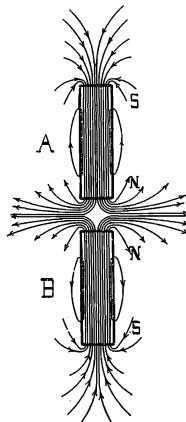


Fig. 17.

Les pôles de même nom se repoussent.

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*.

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 avons 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 obtenons 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 voir par des questions posées dans les revues horlogères et aussi par l'examen de différentes horloges soumises à notre appréciation.

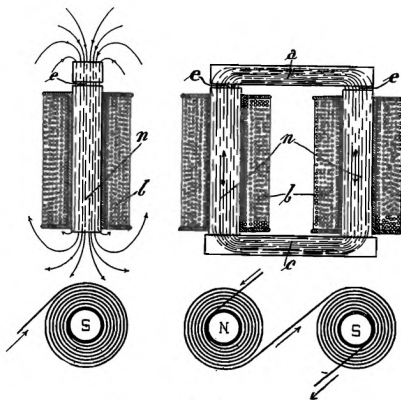
Il est vrai que l'électro-aimant tout simple qu'il paraisse a donné beaucoup de fil à retordre non seulement aux praticiens, mais surtout aux théoriciens qui n'ont pas toujours été d'accord sur ses lois. Il a en effet déchaîné de nombreuses polémiques, fait l'objet de longues recherches et donné la vie à de gros volumes très savants.

Nous ne le traiterons ici qu'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.



Forme droite.

Fig. 18. Forme en « fer à cheval ».

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 résistance 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 de sens inverse.

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 man-

quera 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° *La force portante* qui est le poids qu'il peut supporter lorsque l'armature colle sur les pôles.

2° *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 19000.

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 cm² 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 B	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 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 :

		5000 tours parcourus par 0,1 ampère : : 500
500	} ampèretours peuvent signifier	2500 » » » 0,2 » : 500
		1250 » » » 0,4 » : 500
		500 » » » 1 » : 500
		250 » » » 2 » : 500
		etc., etc.

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 chauffe 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 :

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

dans laquelle

p 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'aient 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.

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

La surface s d'un des pôles est égale à
 $s = \pi r^2 = 3,14 \times 0,5^2 = 0,78$ 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 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

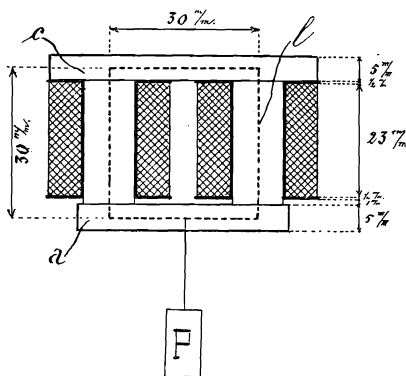


Fig. 19.

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 :

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

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 :

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

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

Épaisseur 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 :

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

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

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.

$$\begin{aligned} \text{Rayon d'une spire moyenne} &= \text{rayon du noyau } 5 \text{ m/m} + \\ &\text{épaisseur de l'isolant } 0,5 + \text{demi-épaisseur de fil } \\ &3,5 \text{ m/m} = 9 \text{ m/m.} \end{aligned}$$

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

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

Un fil de cuivre de 0,4 de diamètre et de 1 mètre de longueur a une résistance de 0,1384 ohm (tableau page 18), 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 électro-aimants 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 $0,05 \times 2 = 0,1$ m/m ou 0,01 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.

Si vous n'avez qu'une médiocre estime pour les formules 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 ampères-tours ce que nous pouvons faire soit en doublant 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, 40 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 : grande force attractive à petite distance.

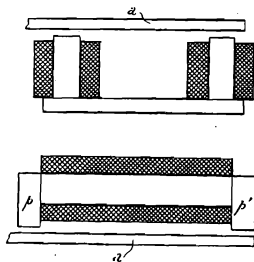


Fig. 20.

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'*.

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 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'ar-

mature *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

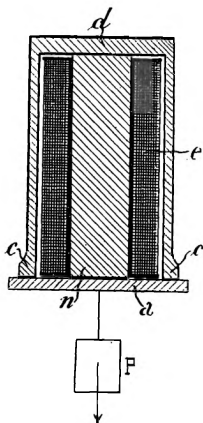


Fig. 21.

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.

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

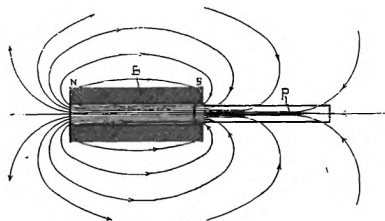


Fig. 22.

fer étant un milieu considérablement 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 .

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

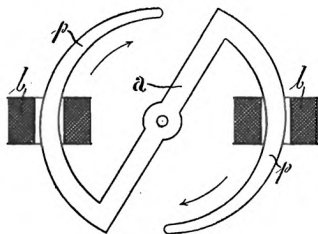


Fig. 23.

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 plon-

geur; 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

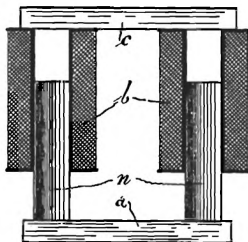


Fig. 24.

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.

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 par-

ties métalliques et l'attraction de l'armature augmente rapidement avec l'enfoncement 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

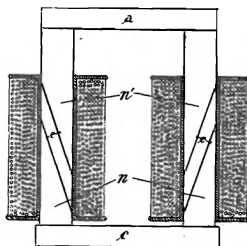


Fig. 25.

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.

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, cu-lasses et armatures non plus massifs mais *feuil-letés* 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 régleur 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'aimer par influence dès qu'elles se trouvent dans un champ magnétique. Or rien de plus facile aujourd'hui que 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 aisé de comprendre que la marche d'une telle montre n'est plus régulière. Les pièces d'acier fixes influencent 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'empresse de le combattre et comme bien on le pense, les remèdes ne manquèrent pas. Un des 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 trentaine d'années. Nous ne décrivons 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 toute 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'inté-

rieur 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'Ecole d'horlogerie de La Chaux-de-

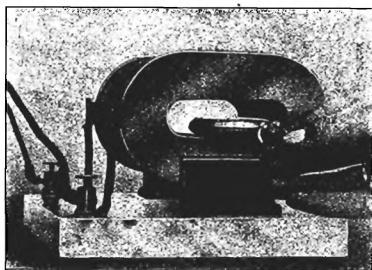


Fig. 26. *Bobine à désaimanter.*

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.

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'Ecole d'horlogerie de Glashütte i/S a construit 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*.

La lampe intercalée dans le circuit électrique a le double but d'indiquer la présence du cou-

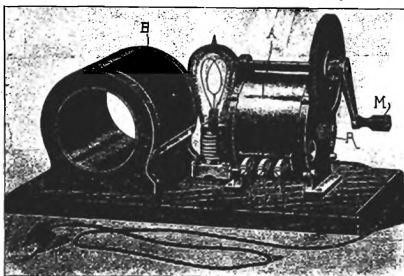


Fig. 27. Bobine à désaimanter avec alternateur de courant.

rant 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'Electricité; celle qui mène insensiblement à ces troublantes expériences, ces lointaines communications établies sans liens matériels ni fils d'aucune sorte; expériences qui auraient valu autrefois la réputation de sorcellerie à leurs auteurs avec les fâcheuses conséquences d'alors!

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 au-

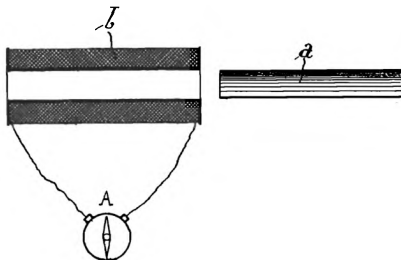


Fig. 28.

rait-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 élec-

triques, 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.

La boucle a étant dans la position représentée est traversée par un certain nombre de

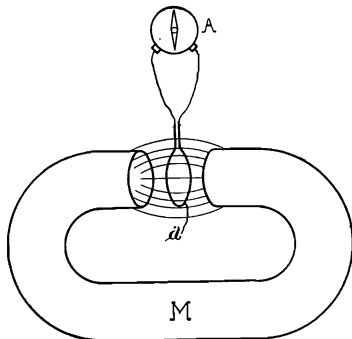


Fig. 29.

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 excitateur) 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*.

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 les noyaux *n*.

Appliquons maintenant sur le bouton *b* un violent coup de poing dans le sens de la flèche de façon à arracher brusquement l'armature; l'ai-

guille 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 .

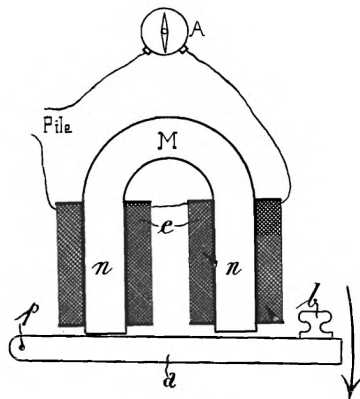


Fig. 30.

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

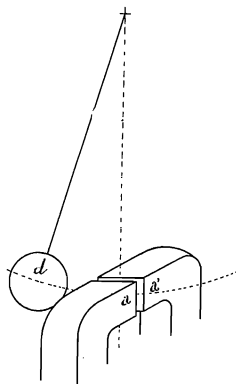


Fig. 31. *Courants de Foucault.*

Une expérience des plus simple permet de constater ces courants.

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 chauffent 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 à ces courants de trouver un circuit fermé dans la masse mobile.

à la main qui manœuvre l'aimant, mais bien au mouvement du pendule dont les oscillations subissent de ce fait 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 trapus, son premier aspect n'est certes pas aussi imposant que celui du moteur à explosion ; il n'a pas comme lui le grand volant et le coup du piston qui font toujours leur petit effet sur le visiteur.

A le contempler pourtant, on devine sous les larges épaules métalliques qui l'encerclent et l'écrasent, une masse puissante qui tourne vertigineusement, une masse qui peut lancer la foudre, tel Jupiter tonnant ou qui très bourgeoisement, fera tourner toutes les transmissions que vous voudrez bien lui confier.

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 85). Au lieu d'une seule boucle métallique se déplaçant dans un champ magnétique, il en comporte un grand nombre rassemblées sous formes 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 et 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 recueillent 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 la 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.

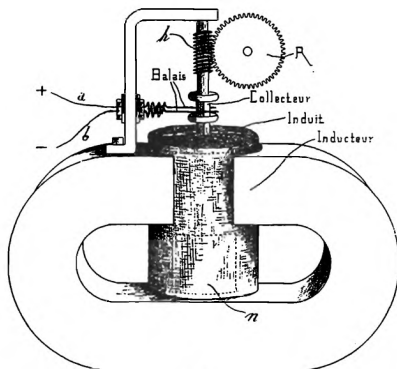


Fig. 33.

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 creusure 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 barillet 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.

I est l'induit du moteur composé d'un anneau circulaire n feuilleté — toujours pour lutter con-

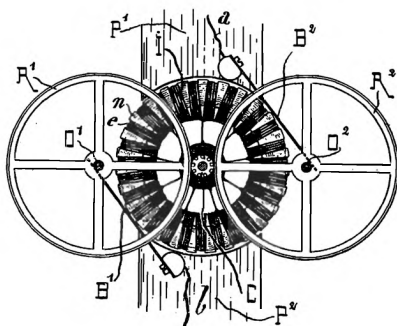


Fig. 34.

tre 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 magné-

tique développé par l'inducteur, 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.

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'Ecole 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 délicats de la montre.

Mais, direz-vous, étant donné 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 maigre, 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

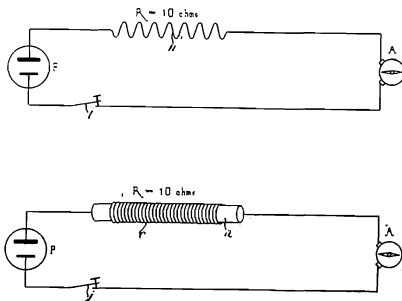


Fig. 35

par quelques tours n de fil en ferro-nickel par exemple.

Un interrupteur i nous permet d'ouvrir et de fermer le circuit sur les bornes de l'ampèremètre 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° 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° 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 O , 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 contraire, 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 surélevée 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° de retarder l'établissement du courant au moment de la fermeture du circuit ;

2° de provoquer une forte étincelle au moment de la rupture.

C'est pour n'avoir pas tenu compte de ces deux 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 « ratées » 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.

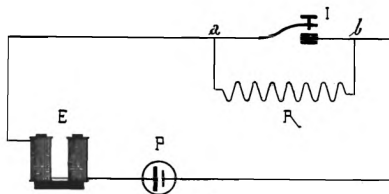


Fig. 36.

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

raffiné 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 son 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 saisisons assez clairement le mécanisme par une comparaison hydraulique.

Supposons (fig. 39) deux réservoirs A et B unis par les tuyaux a et b au récipient R muni d'une membrane circulaire 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 I , puis tout rentre au repos, en état d'équili-

bre, 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 pres-

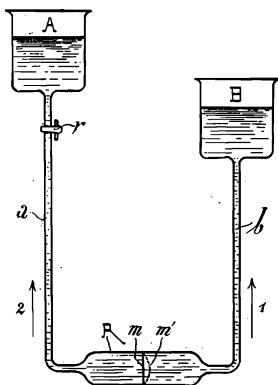


Fig. 39.

sions 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 tuyaux 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 C^o, à Stockolm. *Inventions-Revue* 1909, page 313.)

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 dûes aux extra-courants de tous les appareils compris dans le circuit plus celle due à la force électromotrice de la pile. 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 simple 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 donne d'excellents résultats ; s'il est peu employé c'est probablement en raison de son prix de revient assez élevé, car un bon condensateur exige du mica comme diélectrique et cette substance est très coûteuse.

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 décrivons 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, qui en plus de la pression frottent légèrement. Nous croyons ces derniers plus sûrs tout en convenant que les uns et les autres 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 ont certainement plus de chance de briser l'obstacle 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

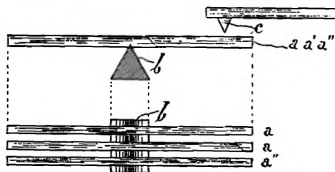


Fig. 40. Contact à lamelles.

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 avec une seule d'entre elles ne permette pas au courant de passer avec son maximum d'intensité; ce maximum n'est atteint que peu à peu et à mesure qu'un plus grand nombre de lamelles étant touché, 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 dimensions 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 $\frac{1}{10}$ 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 « ratées » 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'horloge mère 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 sont 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 1 qui suffit à l'actionner est généralement insuffisant pour alimenter le reste du circuit qui présente souvent une résistance considérable.

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

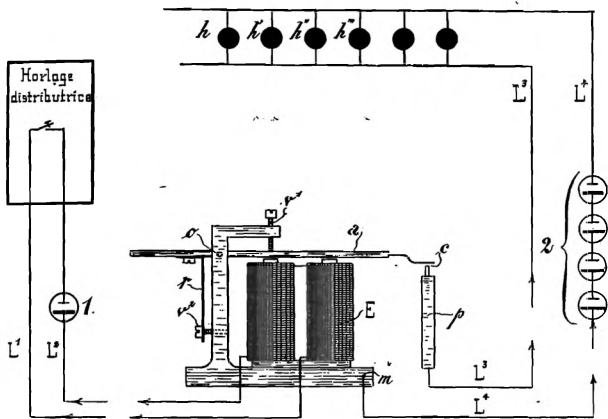


Fig. 41. But du relais.

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'au-

tre à la masse*) 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 I 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 $h h' h'' h'''$ aussi longtemps que durera l'émission du courant de l'élément I . 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 I celui plus intense de la batterie 2 pour la commande des horloges $h h' h'' h'''$...

*) 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 *B*¹ de l'appareil et par l'autre à la borne *B*²; 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 *B*¹, l'autre à la borne *B*² 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

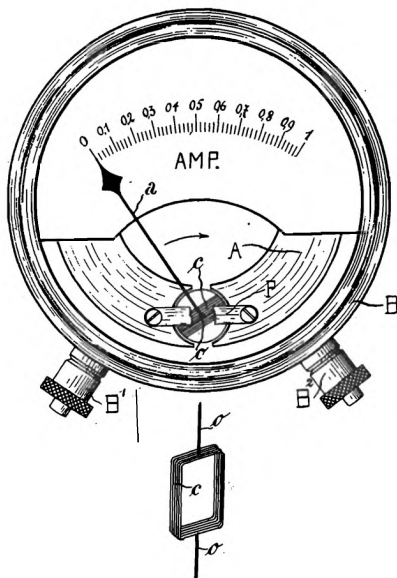


Fig. 42. Ampèremètre.

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 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 seulement dans le cadre que $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$ 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 $\frac{1}{10}$ 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 de l'autre sur l'axe o .

* * *

Le *voltmètre* de la Fig. 43 est construit sur un autre principe; il comprend une bobine circu-

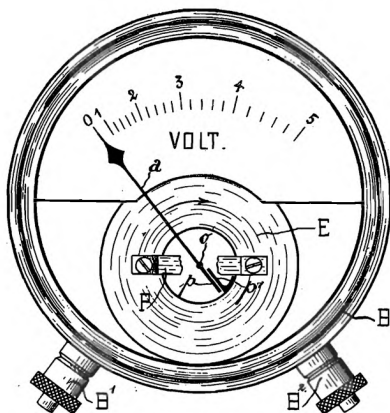


Fig. 43. Voltmètre.

laire creuse E composée d'un grand nombre de tours de fil offrant une *très grande résistance*.

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, également en fer doux p , mais celle-là fixée 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 p et p^1 et comme toutes deux s'aimantent de même polarité, elles se repoussent, la palette p mobile s'éloigne de p^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 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

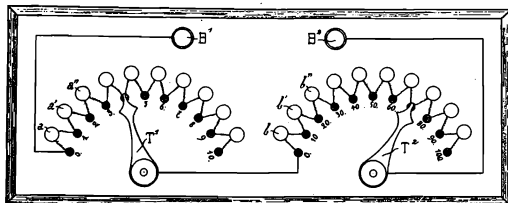


Fig. 44. *Rhéostat.*

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 a de la première série est reliée à la borne B_1 du rhéostat, l'index T_1 à la touche a 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.

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 la placera 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 substitue 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.

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

$$I = \frac{U}{R} \text{ nous voyons que } R \text{ qui est ici la résis-}$$

tance du voltmètre 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 seule-

ment 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'ampéremètre et le voltmètre nous permettent de bien distinguer ces deux appareils ; nous pouvons résumer la différence en disant :

L'ampéremètre et le voltmètre mesurent en réalité des intensités, mais dans l'ampéremètre, 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

DEUXIÈME PARTIE.

Généralités sur les horloges électriques.

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

1° *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° *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 désirable. 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, Ste-Croix, Le Sentier, Le Brassus, Bienne, St-Imier et Berne. Chaque jour, vers 1 h. 1/2, l'usage des lignes télégraphiques de l'Etat sont 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, tous d'accord : l'électricité a réalisé pour eux les temps d'harmonie !

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, l'heure exacte « at home ».

* * *

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 indépendantes.	<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

Poids moteur de plusieurs kilogrammes ou fort ressort.

Grands efforts sur le rouage et les pivots.

Rouage habituel.

Remontage à la main tous les six jours.

Dans le cas du ressort, grandes variations de l'effort moteur.

Horloge électrique

Poids moteur de quelques grammes ou faible ressort.

Petits efforts.

Rouage réduit.

Remontage automatique toutes les minutes, ou demi-heures, ou heures.

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'intermédiaire 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 régu-

lateur 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 celui d'en régulariser la dépense.

Horloges à remise à l'heure. — Il s'agit d'horloges à poids ou 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 le mouvement 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.



CHAPITRE VII.

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 à Neuchâtel.

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'un dent sur la roue R . On voit que par ce mouve-

ment 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

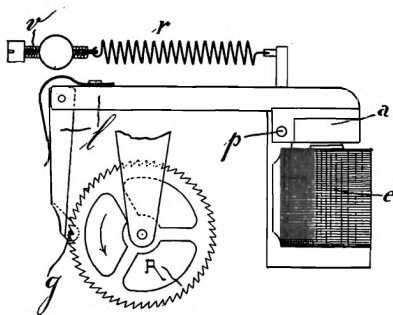


Fig. 46.

d'une nouvelle dent. Toutes les minutes se répètent les mêmes fonctions.

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 »
à Berlin.*

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 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

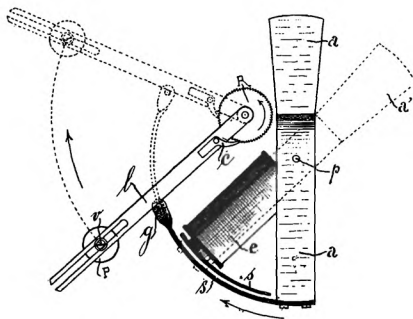


Fig. 47.

dans une ouverture du bras *l* et rendu fixe par la vis *v*. Il est aisé 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' soulève 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
à Neuchâtel.*

Description. — L'électro-aimant droit E est placé entre deux bâtis de fer en forme d'**U**, dont sur la fig. 48 un seul côté B est visible. Entre ces deux bâtis est fou 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 .

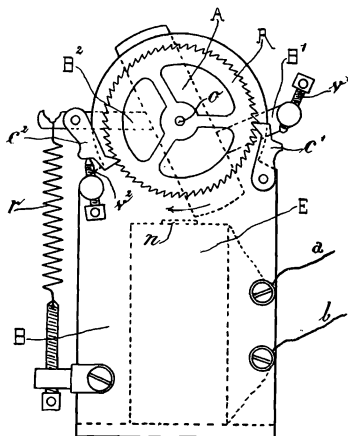


Fig. 48.

Fonctionnement. — Au moment où l'horloge mère envoie un courant dans le fil ab 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 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.

Horloge réceptrice A. Favarger & Co.

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 sans reproches et résiste aussi bien que ses habitants aux giboulées de l'hiver et aux chaleurs des « canicules » !

C'est donc dire qu'il est endurant et qu'il a fait ses preuves.

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 S^1 et S^2 . Cette armature est susceptible d'un mouvement alternatif, limité par les deux arrêts r fixés sur les noyaux I et II et 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

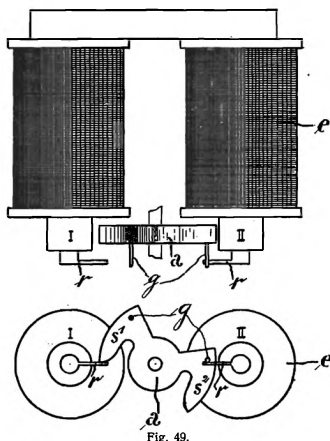


Fig. 49.

sur la figure) avec lequel elle est constamment en contact. Nous supposons que l'armature a avec ses deux becs est constamment aimantée Sud. Les becs S^1 et S^2 sont de forme telle que leurs talons forment avec les noyaux un entrefer aussi réduit que

possible (dans la position représentée, entrefer du bec S^2 et du noyau II). L'entrefer formé par l'extrémité des becs est beaucoup plus grand (bec S^1 et noyau I). De cette façon, l'effet maximum du flux de l'électro-aimant se fera d'abord sentir entre le bec S^2 et le noyau II pour diminuer au fur et à mesure que l'entrefer croit 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 mouvement alternatif de l'armature est transmis aux aiguilles par l'intermédiaire d'une minuterie en relation avec une roue d'échappement sur laquelle agit 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 ceci faire, 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^2 .

Le courant est donc *alternatif*.

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 alternatif* 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 & 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

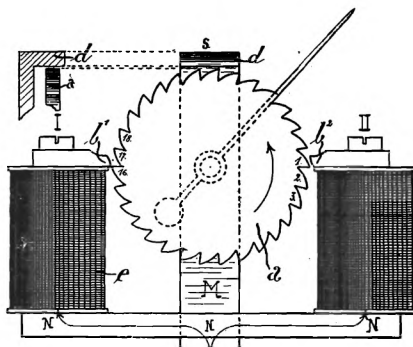


Fig. 50.

(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 b^2 . L'entrefer maximum cette fois-ci se trouve entre le bec b^1 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.

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 *b'* 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 *b''* 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 *b''*. Pendant ce mouvement, l'entrefer est devenu maximum entre le bec *b'* 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 *b''* 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 *sort* 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'hor-

loge 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 des 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.

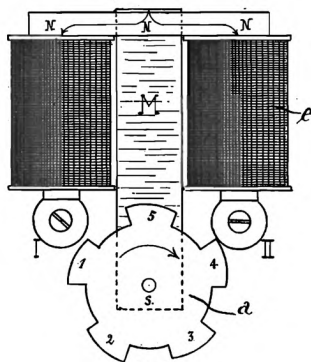


Fig. 51.

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.

*Horloge réceptrice Th. Wagner
à Wiesbaden (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

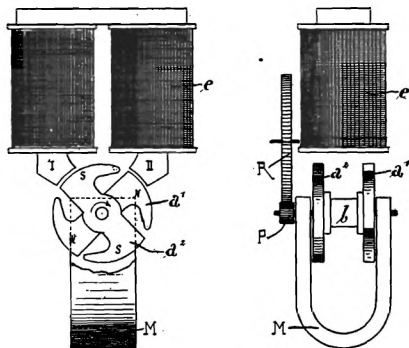


Fig. 52.

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 supposons 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 .

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 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'immobi-

lisera toujours dans la position où les entrefers seront 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 concouramment avec le *lien magnétique* en vue de bien fixer la position de l'armature et de lui empêcher tout mouvement rétrograde accidentel.

*Sonnerie électrique système Max Möller
à Berlin.*

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

Le mécanisme (Fig. 53) est des plus simple; 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 pos-

sible) 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

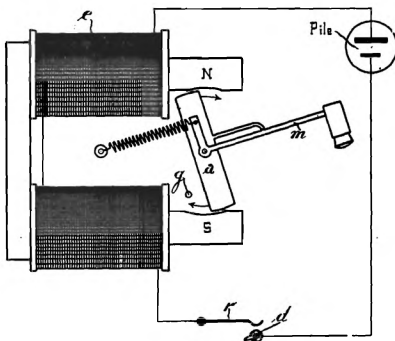


Fig. 53.

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*.

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 modifié.*

L'horloge représentée par la fig. 54 comprend un électro-aimant e susceptible d'attirer 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.

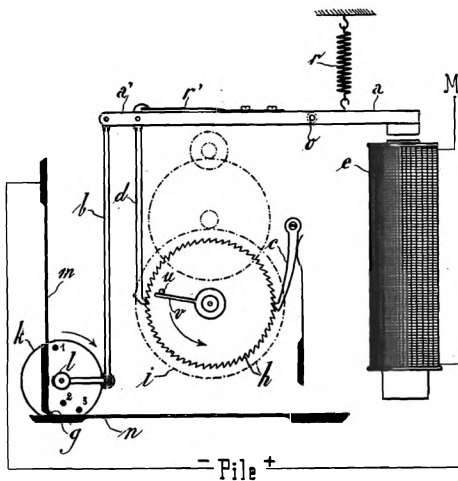


Fig. 54.

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 repré-

sentée, il en est empêché par le ressort n qui le tient éloigné du disque par l'épaule 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 bande 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'épaule 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

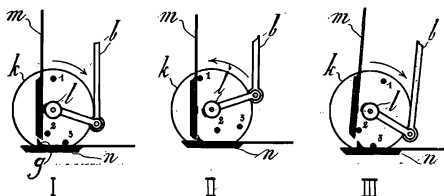


Fig. 55.

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'épaule g . Le circuit est ainsi rompu et le ressort r étant armé d'une certaine quantité continue à actionner les roue i et disques k et l dans le sens des flèches jusqu'à ce que la goupille 3, amenée 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 quelle 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 2. Dans le cas d'une différence de potentiel insuffisante, l'armature n'ayant pas été attirée, le disque continuerait son mouvement et la goupille 2 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 2 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 électriques, devient ici une sérieuse difficulté au point de vue réglage. Une variation de débit de la pile correspond à une

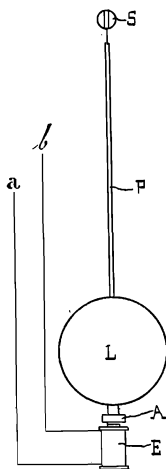


Fig. 56. — Application de l'électro-aimant au pendule.

variation de flux dans l'électro-aimant, d'où efforts variables sur l'armature et irrégularités de marche du 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 perfec-

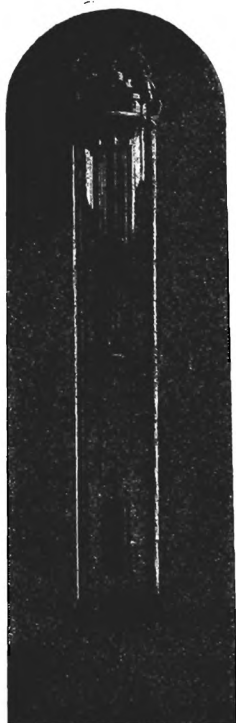
tionnements qui lui feront faire un pas en avant — quoique les « pas en avant » soient choses déjà fort difficiles à réaliser quand il s'agit de dépasser l'extrême précision des horloges astronomiques modernes.

A tout seigneur tout honneur, la première de ces horloges que nous examinerons est celle de Hipp dont l'échappement électrique est des plus ingénieux et aussi des plus apprécié en chronométrie électrique.

La fig. 57 montre une de ces horloges installée depuis quelques années par la maison A. Favarger & C^{ie} dans le sous-sol de l'Ecole 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 gravement et sans bruit 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'Ecole.

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.



Appareil à contacts et
Suspension à ressort

Echappement électrique

Electroaimant moteur

Tiges en invar

Cylindre en zinc

Cage en verre

Bâti en maçonnerie

Fig. 57. Horloge électrique d'observatoire.

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 .

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 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* —.

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 alternatif.

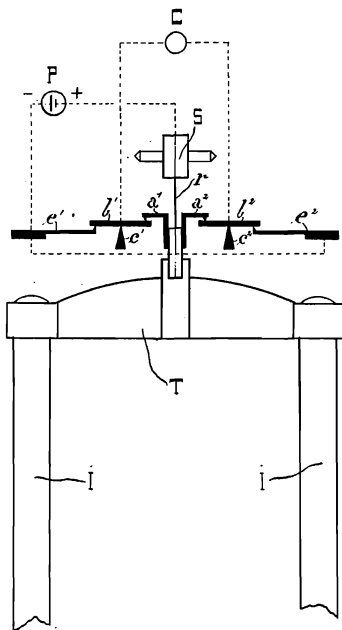


Fig. 58. *Appareil à contacts.*

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'entraîner 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.

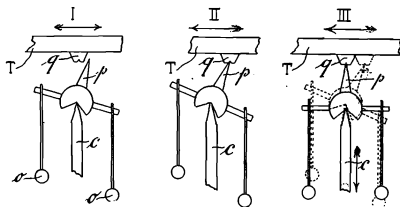


Fig. 59. Echappement électrique.

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 autre 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 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

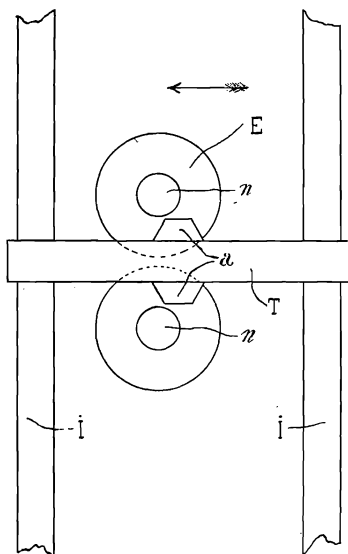


Fig. 60. *Electro-aimant moteur.*

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 comptent 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 dûes 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 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 alternativement 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

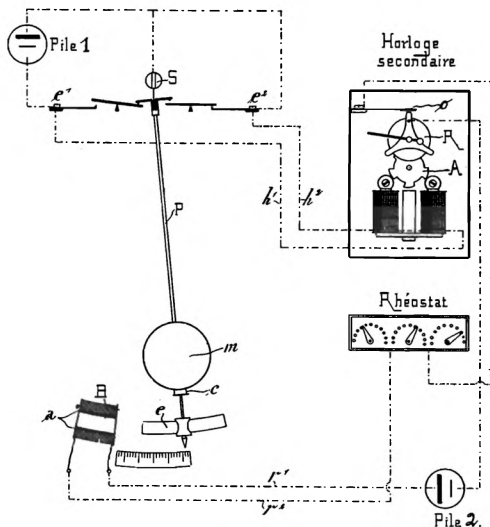


Fig. 61. Pendule de précision à frein électromagnétique
Système Favarger.

électriques qui créent dans son intérieur creux des lignes de forces 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 électro-magnétiques 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.

Monsieur 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 α 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

autre 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 0,00 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 retarde 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 σ , 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'oscil. à l'extrémité du pendule (à l'aimant); 2°, 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.

$$\text{Intensité du courant : } I = \frac{E}{R} = \frac{1,2}{1932} = 0,0006 \text{ ampère}$$

$$* \text{Wattage du courant : } 0,0006 \times 1,2 \text{ volt} = 0,00072 \text{ watt.}$$

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

* 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, à 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

$$2,4 \text{ watts} \times 8 \text{ secondes} = 19,2 \text{ wattssecondes ou joules.}$$

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 élever 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.

le temps du mouvement de l'armature de l'horloge secondaire à contacts, temps évalué à 0,2 sec.

$$0,00072 \text{ watt} \times 0,8 \text{ sec.} = 0,000576 \text{ joule}$$

$$\text{ou : } 0,000576 \times 0,102 = 0,0005875 \text{ kilogramme-mètres}$$

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 47 mm \times 0,8 puisque le courant n'agit 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 électro-magnétique 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°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 de 0,005 sec. par seconde.

On a alors intercalé au rhéostat une résistance telle que l'amplitude du pendule redevienne celle de 2°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 :

$$\text{Intensité: } I = \frac{E}{R} = \frac{1,2}{1932 + 6500} = \frac{1,2}{8432} = 0,000142 \text{ amp.}$$

$$\text{Wattage} = 0,000142 \times 1,2 = 0,0001704 \text{ watt.}$$

$$\text{Travail} = 0,0001704 \times 0,8 = 0,00013632 \text{ joule.}$$

$$\text{ou encore } 0,00013632 \times 0,102 = 0,00001390464 \text{ killog.-mèt.}$$

$$\text{ou enfin } 1,390464 \text{ gramme-centimètre}$$

$$\text{d'où: Force } F' = \frac{1,3900}{4,7 \times 0,8} = 0,37 \text{ gr.}$$

$$\text{donc: Force avec frein: } 1,56 \text{ gr.}$$

$$\text{Force sans frein: } 0,37 \text{ gr.}$$

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 inversés 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.

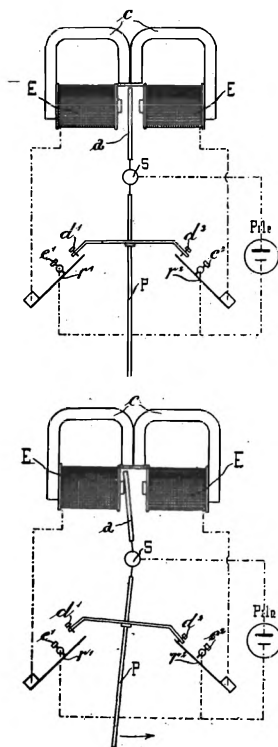


Fig. 62. Pendule électro-magnétique de M. Baumann.

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 $e^1 e^2$ sur lequel s'appuient aux repos les ressorts $r^1 r^2$ 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 $d_1 d_2$ viennent lors des oscillations, soulever alternativement les ressorts $r_1 r_2$. 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 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 Riefler et du Prof. 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. *Inventions-Revue* 1909, page 271).

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.

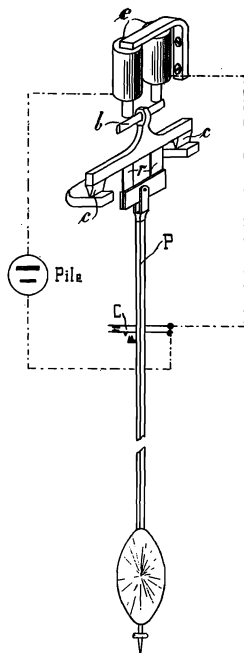


Fig. 63.

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 du solénoïde *B* dans lequel peut entrer et

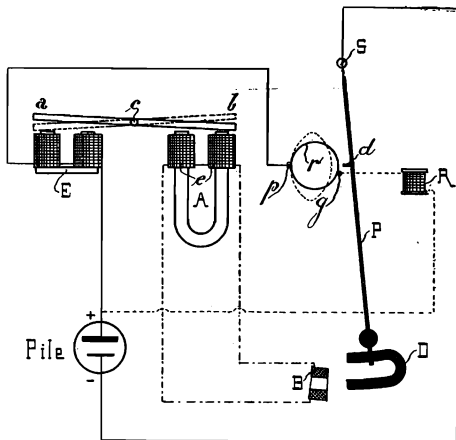


Fig. 64. Pendule à restitution électrique constante de M. Ch. Féry.

sortir une des branches d'un aimant D qui termine le pendule P suspendu en S . Une armature $a b$, pivotant 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 due 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 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 et qui rappelle passablement celui de la « friture » dans la poêle des ménagères.

M. Ch. Féry s'est ingénié 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 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'*.

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.

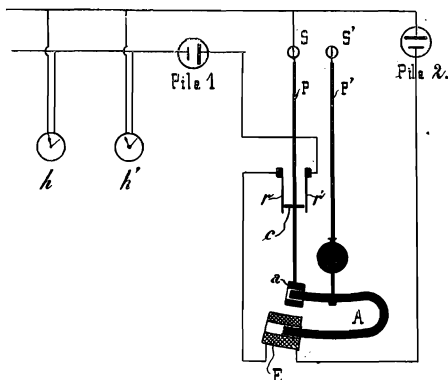


Fig. 65. *Pendule sans lien matériel* de M. Ch. Féry.

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 cou-

rants 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.

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. 66) 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.

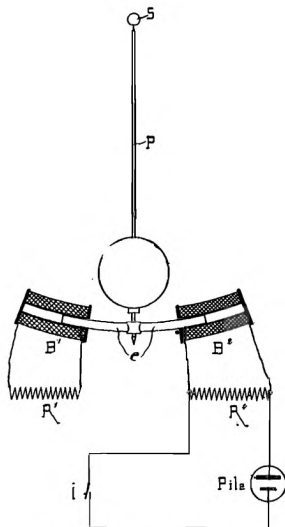


Fig. 66. Pendule synchronisé de Cornu.

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 de la 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 se-

condes 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.



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, avantage qu'apprécieront les personnes irritables qu'un déclanchement un peu sec d'électro-aimant indispose facilement.

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 francs 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 »
à Zurich.*

(Horloges électriques sans batterie, ni contact)

Dans cette horloge, le moteur joue un rôle tout différent de celui que nous lui reconnaissons tout à l'heure, car il est employé ici comme source d'énergie. L'induit du moteur, 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. 67) 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 moteur.

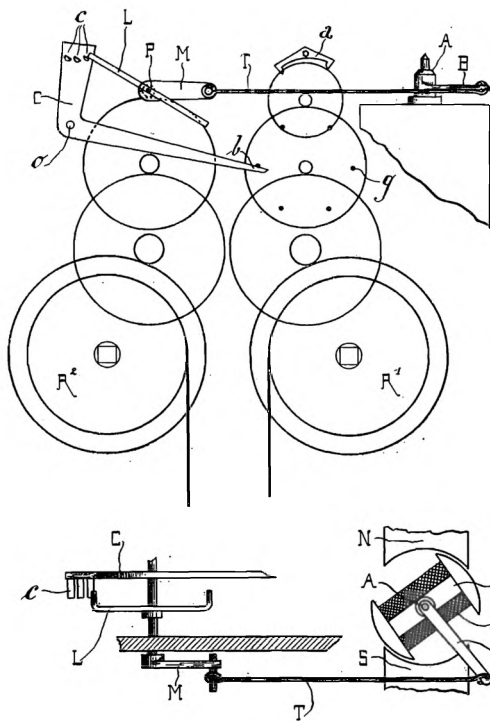


Fig. 67. Horloge - mère « Magneta ».

A cet effet, le dernier pignon F' 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 moteur.

L'induit du moteur est constitué par un noyau en fer doux I qui porte un enroulement e de fil du 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 simple. Le mécanisme d'horlogerie, commandé par la roue R^1 , 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 déclenchement 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 B à l'induit du moteur. 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 « ratées ». 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.

Horloge à remontage électrique

de la Société Electric-Silentia à Besançon.

Cette horloge (fig. 68) comporte un barillet moteur B avec son ressort qui actionne le pignon P de la roue de centre C d'un mécanisme habituel d'horlogerie.

Ce barillet 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 barillet 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 .

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

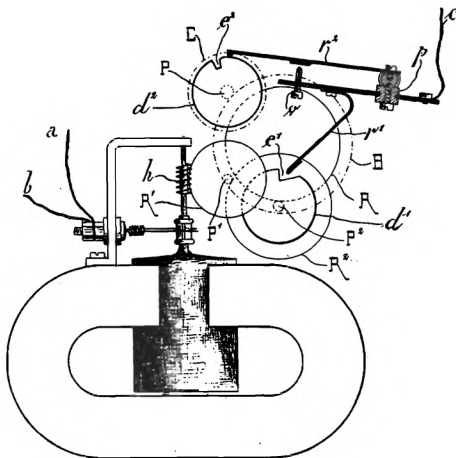


Fig. 68. Horloge à remontage électrique « Silentia ».

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 barillet 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 barillet 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 la Société
Electric-Silentia à Besançon.*

Le même petit moteur est appliqué ici à une horloge réceptrice (fig. 69). 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

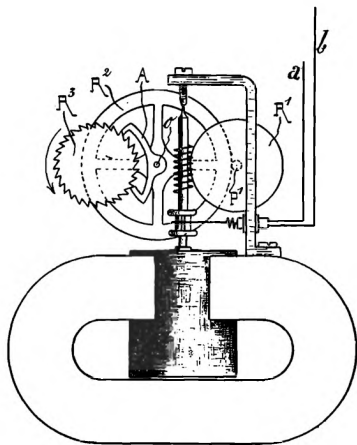


Fig. 69. Horloge réceptrice « Silentia ».

pignon P^1 . Cette roue R^2 porte, ajustée à frottement gras sur son axe (par un ressort à trois branches 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 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.



CHAPITRE X.

Liste des brevets suisses délivrés de 1889 à 1910 concernant les applications de l'électricité aux appareils à mesurer le Temps.

Année 1889.

18. Schlagwerk für Elektro-Regulator Heinrich Mahler, Wetzikon.
69. Nouveau système de cadran lumineux pour
montres de poche, pendules, horloges pu- Ch. Humbert fils, Ch.-de-Fds.
bliques, etc.
115. Elektro-mechanisches Zentraluhren Sys- C.-A. Mayrhofer, Berlin.
tème
130. Système de moteur électrique (électro-aimant) pour pendules et horloges de tous genres Soc. d'horloger., 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 Sekundaruhrwerk Emile Schweizer, Bâle.
1259. Elektrisches Uhrwerk für Steh- und Wanduhren Emile Schweizer, Bâle.

Année 1890.

1931. Elektrisches Sekundaruhrwerk. Emile Schweizer, Bâle.
2115. Elektrisches Uhrwerk für Steh- und Wanduhren Emile Schweizer, Bâle.

Année 1891.

2794. Elektrische Nebenuhr mit Schlagwerk . . Uhrenfabrik, Breitenbach.
3172. Elektrischer Wecker A. Baab, Alzey.

3214. Elektrisches Nebenuhrwerk Emile Schweizer, Bâle.
 3462. Vorrichtung zur Regulung elektrischer
 Nebenuhren Dr Ludwig von Orth, Berlin.
 3633. Elektrischer Wecker Fabrik f. elektrische Apparate
 A. Zellweger, Uster.
 3692. Anordnung elektrischer Uhren zur gemein-
 samen Betriebe mit Anlagen für elektrische
 Beleuchtung oder Kraftübertragung . . . F. v. Hefner-Alteneck, Berlin.

Année 1892.

4486. Elektrische Nebenuhr mit Stromwechsel-
 mechanismus Emile 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 Schlag-
 werkes von elektrischen und andern Pendel-
 uhren 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 Trieb-
 werken Dr H. Aron, Berlin.
 6978. Centraluhren- Anlage mit verzweigtem
 Leitungsnetz Dr A. Franke, Berlin.
 7145. Stromschlussvorrichtung für elektrische
 Weckuhren H.-C.-F. Kröplin, Bützow

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 mi-
 nute, à un ou plusieurs cadrans reliés à
 celle-ci par un circuit électrique Cardoso E Basto, Sao 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, Dresde.
 11950. Elektrische Pendeluhr J. Wiesmer, Heidenheim, et A. Witzel, Stuttgart.
 11951. Elektrische Zeigerkontaktvorrichtung für Zimmeruhren A. Schneider, Winterthur.
 12022. Vorrichtung zum elektrischen aufzug einer Antriebsfeder Prof. Dr Aron, Berlin.

Année 1897.

14180. Elektrisch betriebenes Pendelwerk mit Schlagwerk R. Bürk, Schwenningen.
 14809. Elektrische Uhr W. Whitchead, Manchester.
 14892. Elektrische Uhr H. Schnurrenberger, Zürich.

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 selbstthätigen 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, Zürich.
20104. Un 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.

20717. Cabinet forme colonne pour horloge élec-
trique Col. David Perret, Neuchâtel.
20860. Uhr mit elektrischem Betrieb. Georges Hummel, Munich.
20948. Selbständige elektrische Uhr. Max Hœft, Berlin.
20949. Stromschluseinrichtung an selbständigen
elektrischen Uhren. Max Hœft, 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. Garfield,
Londres-Paris.
21801. Poussoir électro-magnétique perfectionné. H. Campiche, Genève.

Année 1902.

23034. Elektrische Uhr H.-E. Anderson, Stockholm.
23213. Mouvement d'horlogerie avec dispositif
de remontage électrique A.-E. Lebert, Paris.
23648. Mécanisme pour horloge électrique ré-
ceptrice. H. Campiche, Genève.
23763. Perfectionnement aux mouvements d'hor-
logerie à commande électrique A. Lugrin, Orient.
24022. Horloge à commande électrique Cie p^r la fabr. d. compteurs et
matériel d'usines à gaz, Paris.
24121. Elektrische Schlaguhr Max Moller, Altona.
24342. Stromschlusvorrichtung an elektrischen
Antriebs vorrichtungen für elektrische
Uhren, Elektrizitätszähler und dergl. Max Moller, Altona.

24343. Neuerung an elektrischen Uhrenanlagen bei welchen die Ströme zur Betätigung der Nebenuhren durch einen von der Hauptuhr betätigbaren Magnet-Induktor erzeugt werden Actiengesellschaft Magneta, Zurich.
24344. Neuerung an selbststromerzeugenden magnetelektrischen Zentraluhren Actiengesellschaft Magneta, Zurich.
23445. Anker an polarisierten Elektromagneten für Wechselstrom-Nebenuhren Actiengesellschaft Magneta, Zurich.

Année 1903.

24916. Horloge électrique Ch. Féry, Paris.
25162. Horloge électrique O. Axel En Holm, New-York.
26290. Uhr mit elektrischen Aufziehwerk . . . J. Butcher, New-York.
26707. Dispositif moteur d'un mécanisme de sonnerie dans une horloge électrique secondaire à minutes M. Robert-Maret, Neuchâtel.
27554. Pendule électrique J.-A. Carruthers, St-James.
27555. Installation électrique pour la transmission de l'heure Colonel D. Perret, Neuchâtel.

Année 1904.

- ✓ 27960. Chronomètre électrique de marine . . . H.-A. Campiche, Genève.
- ✓ 28111. Durch periodische Stromimpulse in Funktion erhaltbare elektrische Reguliereinrichtung an mechanischen Uhrwerken mit auf Voreilen adjustierten Gang . . . Actiengesellschaft Magneta, Zurich.
- ✓ 28112. Elektrische Nebenuhr J.-W.-H. Uytendogaart, Utrecht.
- ✓ 28250. Pièce d'horlogerie avec dispositif d'éclairage 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 auflösen 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 Etablissements Henry Lepaute, Paris.
- ✓ 30900. Remontoir électrique perfectionné pour pièces d'horlogerie Peyer, Favarger & Co, Neuchâtel.

Année 1905.

- ✓ 31054. Horloge électrique. G.-S. Tiffany, New-York.
- 31055. Stromschlussvorrichtung an elektrischen Pendelwerken American Electrical Novelty, Berlin.
- 31198. Dispositif de contact aux horloges électriques Svenska Elektriska Urfabriken, 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 électrique automatique Besançon & Steiger, Ch.-d.-Fds
- ✓ 33815. Pendule avec dispositif électromagnétique pour le réglage de sa marche C. Vigreux et L. Brillé, Levallois-Perret.

Année 1906.

- ✓ 34504. Hauptuhr für elektrische Uhreanlagen G.-B. Howell, Londres.
- 34777. Uhr mit elektrischer Werckeinrichtung K. Keusen, Thouné.
- ✓ 35845. Elektrische Sekundäruhr G.-B. Howell, Londres.
- 35846. Dispositif de remontage électrique automatique du poids moteur d'un mouvement d'horlogerie Steiger & Besançon, Ch.-d.-Fds

Année 1907.

36946. Zum Betrieb von Nebenuhr, etc. mittelst Extraströmen dienende elektrische Hauptuhr. F. Schneider, Langenfeld.
37142. Stromschlussvorrichtung für elektrische Uhren mit schwingenden Anker C. Schwan, Berlin.
37372. Dispositif de remontage électrique automatique d'au moins un barillet moteur d'une pièce d'horlogerie Steiger & 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 mittels elektrischer Wellen Dr. M. Reithoffer et F. Morawetz, Wien.
37913. Uhr mit Einrichtung zur Beleuchtung des Zifferblattes H. Wolf & K. Broch, Haan.
38241. Aufzugsvorrichtung 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 Moller, 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 Aufziehvorrchtung 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. p^r constr. d'instr. de physiq. et mécan., Genève.
44119. Mit elektrischem Motor betriebenes Uhrwerk F. Kirchofer, Lorrach.
44120. Horloge électrique réceptrice. David-Perret fils, S. A., Neuchâtel.
44121. Vorrichtung zum Umwandlung von Wand oder Standuhren mit Feder oder Gewichts-antrieb in Uhren mit elektrischem Antrieb A. Anders, Charlottenburg.
44250. Chronoscope Rodolphe Schulze, Leipzig.
44549. Dispositif électrique pour le remontage automatique des horloges de tour J.-G. Bær, Sumiswald.
45347. Schaltung zum Antrieb von elektrischen Uhren oder andern anzutreibenden Apparaten Aktiebolaget L.-M. Ericsson & Co., Stockolm.
45521. Schaltung zum Antrieb elektrischer Nebenuhren. Aktiebolaget L.-M. Ericsson & Co., Stockolm.

Année 1910.

46460. Elektrischer Apparat zur periodischen Betätigung eines Räderwerkes W. Vetter & C. Muller, Hagen i/W.
46733. Selbsttätige elektrische Aufziehvorrichtung an Uhren mit Federtriebwerken F. Borgers, Hérissau.
47146. Elektrische Uhr F. Schneider, Fulda.
48247. Elektrische Nebenuhr mit permanenten Magnet Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, Berlin.



TROISIÈME PARTIE

ONDES HERTZIENNES

ET

HORLOGES ÉLECTRIQUES

TROISIÈME PARTIE.

La Télégraphie sans fil.

La télégraphie sans fil est une des plus belles victoires de la science humaine et des plus utiles aussi, puisque depuis quelques années, on en peut parler, non point comme d'une troublante expérience de laboratoire à portée pratique très discutable (et combien en effet au début l'ont jugée telle et condamnée par avance), mais bien comme d'un service public régulièrement établi, ayant à l'instar d'autres administrations, son personnel, ses bureaux, ses règlements et ses taxes. Peu de découvertes ont progressé aussi rapidement dans le domaine des applications pratiques.

En 1896, lors des célèbres expériences de Marconi, on criait au miracle en apprenant que l'électricien italien venait d'établir des communications par les ondes électriques entre des postes éloignés, de 15 à 22 kilomètres. En 1899, on atteignait 50 kilomètres, en 1902 c'était 1000 kilomètres, et jusqu'à nos jours, soit en l'espace de huit années seulement, on inventa, on perfectionna tant et si bien que les suppositions d'alors, même les plus téméraires, sont réalisées aujourd'hui au-delà de toute espérance.

L'électricité est bien comme on l'a appelée une fée merveilleuse qui se plaît souvent à confondre les esprits pondérés. C'est ainsi que dans un ouvrage édité en 1902 nous avons relevé, à propos de

télégraphie sans fil, ces quelques lignes, écrites pourtant par un électricien des plus savant :

«...Sans doute l'imagination des journalistes a « été un peu vite quand elle a mis en avant la « possibilité de la traversée tout entière de l'Atlantique par les signaux hertziens...»

Or cette fois-ci l'imagination des journalistes a eu raison, puisque le 17 octobre 1907 des communications régulières s'établissaient par dessus l'Atlantique entre Clifden en Irlande et Glace Bay au Canada, c'est-à-dire entre deux points distants de 4630 kilomètres !

Notez qu'il s'agit de communications régulières, d'un échange suivi de messages et non pas de communications aléatoires dont la réussite dépend plus ou moins de la pluie et du beau temps. Et l'on ne désespère pas faire mieux encore. En France notamment, le poste gigantesque de la Tour Eiffel, tout récemment achevé ou à peu près, aurait paraît-il un rayon d'action d'au moins 6000 kilomètres !

On peut prévoir qu'avec le temps la télégraphie sans fil deviendra d'un usage aussi courant que celui de la télégraphie avec fil et qu'elle offrira probablement un jour autant de sécurité que cette dernière.

Un tel succès était bien fait pour encourager les chercheurs et augmenter le champ de ses applications ; on songea de suite à l'appliquer à la transmission de l'heure. Quoi de plus élégant et de plus tentant en effet que d'imaginer les ondes électriques effectuant à travers l'espace, chaque jour, chaque heure, ou chaque minute une course mystérieuse jusqu'aux horloges dont elles feraient

avancer les aiguilles comme par un doigt invisible. L'expérience est des plus intéressante et elle fut tentée avec succès en France*), en Espagne, en Autriche et sans doute ailleurs encore, mais on ne peut dire pour autant que « l'horloge électrique sans fil » soit l'horloge de l'avenir. Nous sommes avertis que dans ce domaine, les pessimistes ont quelque fois tort; sous peine d'être démentis plus tard, ce dont nous serions très heureux, nous examinerons le rôle de la télégraphie sans fil sous un jour différent de celui qui consiste à actionner un réseau d'horloges régulièrement toutes les minutes par l'émission d'ondes, comme cela est pratiqué à Vienne par MM. M. Reithoffer et F. Morawetz.

Après avoir examiné le système en usage à Vienne, nous essayerons d'exposer les véritables avantages de la télégraphie sans fil au point de vue chronométrique. Avant toutefois d'aborder le problème, il est nécessaire de nous initier à ses mystères.

Une installation complète de télégraphie sans fil comprend trois groupes principaux d'appareils que nous allons décrire le plus simplement possible.

- 1° Les appareils producteurs de haute tension.
- 2° Les appareils producteurs d'oscillations électriques.
- 3° Les appareils sensibles aux oscillations.

*) Signalons les expériences de M. Bigourdán de l'Académie des sciences, à Paris, et, peu après, celles de M. Ch. Poncet, Dr de l'Ecole Nationale d'horlogerie de Cluses.

CHAPITRE XI.

Appareils producteurs de haute tension.

Les différences de potentiel auxquelles nous avons eu à faire jusqu'à présent pour actionner nos horloges étaient représentées par quelques volts seulement. En télégraphie sans fil, comme nous le verrons surtout par la suite, les zéros s'ajoutent aux unités avec la plus grande aisance ; c'est ainsi pour commencer, à propos de différence de potentiel, qu'on parle de tensions supérieures à 1000000 de volts dans l'antenne du poste de la Tour Eiffel.

La haute tension peut s'obtenir de trois façons différentes, par les *Machines électrostatiques*, la *Bobine de Rhumkorff* ou les *Transformateurs*.

* * *

Nous ne nous attarderons pas à la description des Machines électrostatiques. Ces appareils comportent des disques ou cylindres de verre ou d'ébonite dont le frottement sur des corps appropriés développe des quantités d'électricité qui, s'accumulant, élèvent progressivement la différence de potentiel aux bornes de la machine. Ces bornes sont constituées par deux sphères qu'on peut à volonté éloigner ou rapprocher. Dès que la tension existant entre les deux sphères devient assez haute, leurs électricités positives et négatives tendent à s'échanger à

travers l'atmosphère sous la formes d'effluves violettes qui font entendre un sifflement caractéristique. Quand on rapproche suffisamment les sphères alors l'échange a lieu par une décharge brusque sous la forme d'une étincelle.

Les tensions développées peuvent se mesurer très approximativement par la longueur des étincelles fournies en estimant à 1000 volts la tension nécessaire pour réaliser une étincelle de 1 mm. de longueur. Une étincelle de 30 mm. correspondrait donc à peu près à une tension de 30,000 volts.

Une machine électrostatique peut établir des différences de potentiel de 45,000 volts, une bonne machine (celle de Wimshurst en particulier) peut même atteindre 100,000 volts.

Les machines électrostatiques n'ont pas d'applications pratiques en télégraphie sans fil, elles sont tout au plus utilisées pour des expériences de laboratoire et pour la démonstration des curieux effets de la haute tension. Avant pourtant de les quitter définitivement, peut-être n'est-il pas inutile de prévenir le Lecteur contre une comparaison qu'il ne manquera pas d'établir entre ces milliers de volts si aisément réalisés par les machines électrostatiques et les maigres volts si péniblement acquis en groupant des éléments de piles. Il s'agit de distinguer ces deux résultats.

Dans les machines électrostatiques il s'agit d'électricité portée à une très haute tension ; nous avons un très grand nombre de volts mais des fractions excessivement petites d'ampère. Cette haute tension se manifeste sous la forme

d'effluves, de radiations colorées ou de décharges brutales affectant un caractère d'instantanéité.

Dans la pile ou dans d'autres machines, si nous avons comparativement peu de volts, nous avons relativement un nombre très respectable d'ampères ou de fractions d'ampère. Ici l'électricité présente le caractère d'un courant tel que nous avons appris à le connaître en le comparant à un liquide qui s'écoule dans un tuyau.

Industriellement, notamment pour le transport à grandes distances par câbles de l'énergie électrique, on a intérêt à employer de très hautes tensions. Plus en effet la tension du courant est élevée, plus elle permet pour le transport d'une même quantité d'énergie de réduire et le diamètre et le poids des câbles de transport, ce qui constitue de sérieuses économies comme bien on le pense quand il s'agit de transporter l'énergie à des centaines de kilomètres.

Si par exemple on veut transporter par câbles une puissance de 20000 watts, on pourra utiliser un courant de

10 volts et 2000 ampères	=	20000 watts
ou 100 » » 200 »	=	20000 »
ou 1000 » » 20 »	=	20000 »
ou 10000 » » 2 »	=	20000 »

Si nous choisissons 100 volts et 200 ampères, le cable calculé à raison de 3 ampères par millimètre carré de section (pour éviter un échauffement dangereux) exigera un diamètre d'environ 10 mm., tandis qu'en choisissant 10000 volts et 2 ampères, un fil de 1 ou 2 mm. seulement de diamètre suffit pour obtenir le même résultat.

Ce simple calcul montre suffisamment l'économie considérable de matière qu'ont peut réaliser par l'emploi de la haute tension. Inutile de le dire, de telles tensions sont terriblement dangereuses et il a fallu de l'audace pour les employer industriellement.

En 1908, une usine française du littoral méditerranéen transportait l'énergie à la tension déjà très respectable de 50,000 volts, mais dans ce domaine, comme dans beaucoup d'autres, il faut aller chercher le record en Amérique où les usines qui utilisent les forces des célèbres chutes du Niagara transportent l'énergie électrique par une ligne de 480 kilomètres de longueur à une tension de 100,000 volts !

On conçoit les précautions et les moyens d'isolation que demande l'établissement de telles lignes pour éviter que ces formidables tensions ne crèvent leurs isolants d'où jailliraient de véritables éclairs, comparables, mais en miniature seulement, à ceux qui éclatent dans l'atmosphère en temps d'orage. Les tensions électriques développées dans les nuages atteignent en effet des valeurs autrement grandes, puisque certains éclairs jaillissant entre deux nuages peuvent mesurer 15 kilomètres de longueur !

Mais voici que la haute tension nous conduit dans les nuages, revenons sur terre et voyons maintenant une petite machine, intéressante entre toutes : la Bobine de Rhumkorff.

* * *

Cette bobine ne doit pas être une bobine quelconque puisque sa découverte valait à Rhum-

korff lui-même le prix de 50,000 francs institué par le gouvernement français en 1867 pour l'application la plus intéressante de la pile. Et ce prix était mérité, car les plus belles découvertes de la science, les rayons Røengten et la télégraphie sans fil qui nous occupe peuvent brûler un fameux

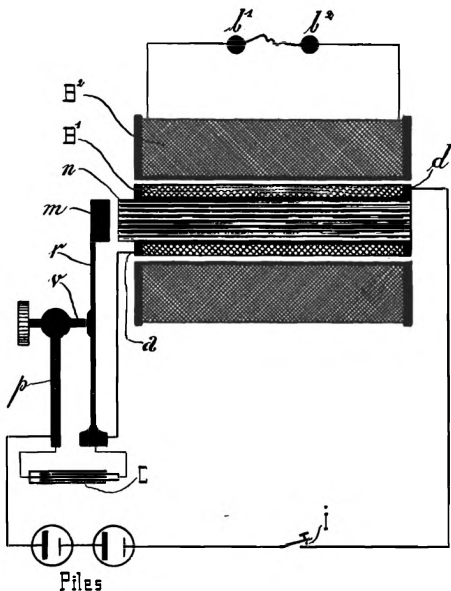


Fig. 70. Bobine de Ruhmkorff.

cierge en sa mémoire. Grâce à elle, nous allons réaliser la haute tension avec les quelques volts de nos piles et cela tout simplement en mettant en pratique les phénomènes de l'induction que nous connaissons.

La bobine de Rhumkorff (fig. 70) comporte un noyau n constitué par l'assemblage de fils de fer pour éviter dans sa masse la formation de courants de Foucault.

Ce noyau est entouré de deux bobines indépendantes l'une de l'autre, la première B^1 , constituée par quelques tours de gros fil, la seconde B^2 , formée de milliers de tours d'un fil très fin aboutissant à deux boules b^1 et b^2 dont la distance est réglable et entre lesquelles jaillira tout à l'heure l'étincelle.

Une des extrémités du gros fil de la bobine B^1 sortant en a est relié à ce qu'on appelle l'*interrupteur trembleur* constitué par une masse en fer doux m fixée à l'extrémité du ressort r qui, au repos, appuie contre une vis réglable v portée par un pilier p électriquement relié à l'un des pôles d'une batterie de piles, dont l'autre pôle communique avec l'autre bout du fil de la même bobine sortant en d . Un interrupteur I permet d'actionner la bobine à volonté. Supposons le circuit fermé ; le courant passera des piles dans $p v r$, entrera dans la bobine B^1 par a , en ressortira en d pour retourner aux piles. Ce courant aimante le noyau n qui attire la masse m , d'où rupture du circuit entre v et r . La masse m n'étant plus attirée revient dans la position dessinée, le courant s'établit à nouveau, seconde aimantation dans le noyau n , attraction de m , nouvelle rupture et ainsi de

suite. Ces interruptions se produisent très rapidement, 10 à 15 fois à la seconde, avec le dispositif d'interrupteur trembleur décrit. Des interrupteurs construits sur des principes différents de celui-ci permettent d'obtenir jusqu'à 1500 interruptions à la seconde.

Quel est le résultat de cette gymnastique ? Vous l'avez deviné ; chaque interruption fait subir au noyau n une grande variation de flux magnétique, d'où production intense de courants induits dans les nombreux tours de fil de la bobine B^2 , courants qui se manifestent sous la forme d'une étincelle crépitante qui éclate sans discontinuer entre les boules b^1 b^2 tant que l'interrupteur I est fermé.

Notre bobine a eu pour effet de transformer la faible tension du courant de la batterie en haute tension et cela dans une proportion qui dépend approximativement des longueurs respectives de fil enroulé sur les bobines B^1 et B^2 .

Si par exemple le fil de la bobine B^2 est 1000 fois plus long que celui de B^1 et que le courant dans B^1 accuse 8 volts, nous aurons entre les boules b^1 et b^2 une tension mille fois plus grande, soit de 8000 volts. Mais un tel résultat n'est pas gain tout entier, ce qui serait trop beau, il faut bien qu'un changement se soit produit ailleurs. En effet, si la tension est devenue mille fois plus grande, l'intensité en ampère du courant induit a diminué dans les mêmes proportions, elle est donc mille fois plus petite que celle existant dans le circuit de la bobine B^1 . L'enroulement de la bobine B^1 s'appelle

le *circuit primaire* ou *inducteur* de la bobine, et celui de B^2 le *circuit secondaire* ou *circuit induit*.

Comme les variations de flux dans le noyau n partent de 0 pour arriver à une certaine valeur et décroître ensuite jusqu'à 0, c'est-à-dire changeant de sens, théoriquement le courant induit qui se manifeste par l'étincelle b^1 b^2 devrait aussi changer de sens, être alternatif. Pratiquement il n'en est rien, car la disparition du flux s'exerçant d'une façon plus énergique que l'établissement, un des courants induits prédomine sur l'autre, de telle sorte que le courant induit est toujours de même sens.

La longueur de l'étincelle entre les boules b^1 et b^2 est de beaucoup augmentée en introduisant un condensateur C en dérivation sur le pilier p et le ressort r de façon à réduire l'étincelle de rupture qui se produit entre ces deux pièces par suite de la self induction que présente l'enroulement B^1 .

La Bobine de Ruhmkorff est employée avec succès en télégraphie sans fil, elle est construite alors en conséquence; certaines de ces bobines donnent des étincelles de 50 à 80 centimètres de longueur.

Citons à titre de curiosité et de record une bobine construite en Angleterre ayant 1,20 mètre de longueur, 50 centimètres de diamètre et pesant 762 kilogrammes. Le circuit secondaire B^2 de cette bobine mesure 450 kilomètres de longueur; alimentée avec 30 éléments de pile elle donne une étincelle de 1 mètre de longueur.

* * *

Il nous reste à dire quelques mots des *Transformateurs* employés actuellement de préférence à la Bobine de Rhumkorff parce qu'ils produisent la haute tension avec un meilleur rendement. Ces appareils sont basés exactement sur le même principe que la bobine. Ils comportent comme elle un circuit inducteur et un circuit induit, mais l'interrupteur trembleur est supprimé, le circuit inducteur étant directement parcouru par du courant alternatif fourni par un moteur électrique.

Pratiquement (Fig. 71) un transformateur comporte un circuit fermé en fer doux feuilleté composé de deux noyaux n réunis par deux culasses c . Sur un des noyaux est enroulé le circuit induc-

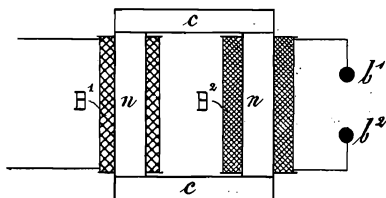


Fig. 71. Transformateur.

teur ou primaire B^1 relié au moteur qui lui fournit le courant alternatif. L'autre noyau porte le circuit induit ou secondaire B^2 dont les extrémités aboutissent aux boules b^1 b^2 entre lesquelles éclatera l'étincelle.

Le primaire étant parcouru par un courant alternatif aimante noyaux et culasses dont les va-

riations de flux donnent naissance à des courants induits de haute tension dans le secondaire. De même que dans la bobine, la tension obtenue dépend des longueurs d'enroulement respectives des circuits primaires et secondaires.

Si la longueur du fil de B^2 est 2000 fois plus grande que dans B^1 , la tension entre les boules b^1 et b^2 est 2000 fois plus grande que celle qui existe dans le circuit primaire, par contre le nombre d'ampères est 2000 fois plus petit que dans B^1 .

Les transformateurs employés couramment pour la télégraphie sans fil sont construits pour des tensions non supérieures à 25,000 volts dans le secondaire et 250 volts dans le primaire.

Maintenant que nous voici quelque peu renseignés sur la façon de produire la haute tension, voyons comment, avec cette haute tension, on provoque les oscillations électriques.



Appareils producteurs d'oscillations électriques.

Nous nous sommes tous amusés un jour ou l'autre à lancer des pierres dans une mare pour faire ce qu'on appelle « des ronds dans l'eau ».

En télégraphie sans fil, excusez l'image mais elle nous dispense de trop longues explications, ce n'est pas dans l'eau qu'on « fait des ronds », ni dans l'atmosphère, mais dans un fluide hypothétique appelé l'éther, fluide doué d'une merveilleuse élasticité et dont les physiciens admettent la présence partout, aussi bien dans les corps solides que dans ceux liquides ou gazeux.

Une pierre jetée dans l'eau nous donne l'image d'une suite d'oscillations, d'ondes concentriques qui se propagent tout autour du centre d'oscillation qui est l'endroit où la pierre est tombée. Les phénomènes de la lumière, de la chaleur, comme aussi les phénomènes électriques sont attribués à des vibrations, à des oscillations plus ou moins rapides que l'éther se charge de propager ; nous disons bien l'éther et non l'atmosphère, car ces ondes se propagent à travers des espaces vides d'air, témoin par exemple la lumière et la chaleur solaires qui nous parviennent malgré que nous sommes séparés du soleil par les espaces interplanétaires exempts d'atmosphère.

L'éther est donc ce fluide hypothétique inventé pour les besoins de la cause, afin

d'expliquer la transmission des ondes lumineuses, calorifiques ou électriques, comme l'eau tout à l'heure était le milieu qui transmettait sous forme d'ondes, l'ébranlement produit par la chute d'une pierre.

La ligne sinueuse de la fig. 72 nous donne d'une façon générale l'image d'ondes, d'oscillations de part et d'autre d'une ligne médiane AB .

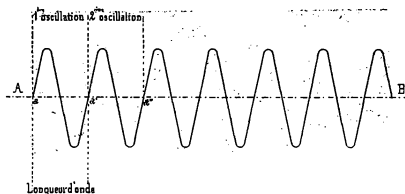


Fig. 72.

On entend par *longueur d'onde* les distances $a a'$, $a' a''$... dont a progressé le mouvement vibratoire pendant une oscillation complète, et *fréquence* le nombre d'oscillations accomplies en une seconde.

Les phénomènes lumineux, calorifiques et électriques diffèrent entre eux par des oscillations dont la fréquence et la longueur d'onde varient dans des limites énormes.

Les quelques chiffres ci-dessous donnent une idée de ces variations pour les longueurs d'onde.

Effets lumineux, longueur d'onde	0,0004 à 0,000075 mm.
Effets calorifiques	» » 0,000075 à 0,006 »
Effets électriques	» » 4 mm. à quelques km.

Quant aux fréquences, elles sont de 600,000,000,000,000 (600,000 milliards) pour les effets lumineux et varient pour les effets électriques entre 100 et 50,000,000,000 (50 milliards).

En télégraphie sans fil, on emploie généralement des oscillations de fréquence 1,000,000 avec une longueur d'onde de 300 mètres.

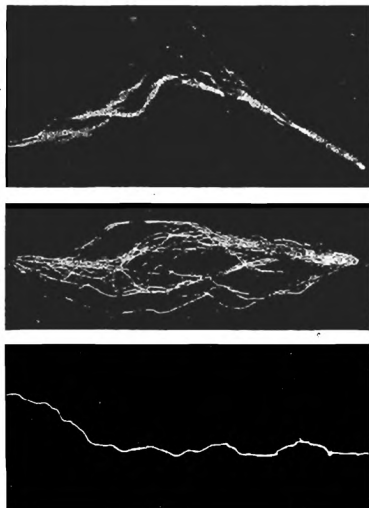


Fig. 73. *Différentes formes d'étincelles provenant de décharges électriques.*

C'est maintenant le moment d'examiner comment les électriciens provoquent un tel ébranlement de l'éther !

Tout simplement par des décharges électriques éclatant entre les bornes d'un appareil à haute tension.

L'étincelle électrique qui résulte d'une décharge se manifeste sous des aspects très divers (fig. 73), elle est aussi accompagnée de bruits qui varient suivant la nature de la décharge. Toutes les décharges ne conviennent pourtant pas à l'usage de la télégraphie sans fil, parce qu'elles ne sont pas toutes *oscillantes*, c'est-à-dire qu'elles ne provoquent pas toujours les oscillations électriques de haute fréquence citées tout à l'heure. Pour obtenir ces oscillations, la décharge doit s'opérer dans un circuit comprenant un condensateur et une bobine de selfinduction disposés de la façon représentée par la fig. 74.

a et b sont les fils qui partent de la machine productrice de haute tension que nous supposons être une bobine de Rhumkorff. Ces fils arrivent aux boules b^1 et b^2 qui constituent ce que l'on appelle l'*éclateur*. En dérivation sur l'éclateur sont placés le condensateur C et la bobine R constituée par un nombre plus ou moins grand de tours de fil. Supposons la bobine de Rhumkorff en activité ; le condensateur C se charge, la différence de potentiel aux boules b^1 et b^2 augmente jusqu'au moment où la tension étant devenue assez grande, il se produise une décharge sous la forme d'une étincelle jaillissant entre les boules b^1 et b^2 . Cette décharge provoque un

ébranlement, un courant pulsatoire dans le circuit $b^1 R C b^2$. Cet ébranlement donne naissance aux *ondes hertziennes*.*)

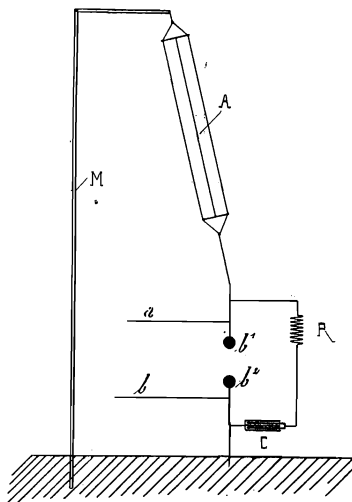


Fig. 74. Production des ondes hertziennes.

La fréquence de ces ondes dépend des proportions du condensateur C et de la bobine R . Si le condensateur est de grande capacité et

*) Ainsi baptisées en la mémoire du physicien allemand Hertz, qui établit le premier, par de mémorables expériences, l'analogie de transmission par ondes des phénomènes lumineux, calorifiques et électriques.

la bobine à forte selfinduction (beaucoup de tours de fil), les oscillations provoquées sont lentes, elles peuvent descendre à une fréquence de 100. Si l'inverse a lieu, soit si la capacité est petite et la selfinduction faible, les oscillations atteignent jusqu'à des fréquences de 50,000,000,000. Ce dispositif permet donc d'obtenir toute la gamme désirable des fréquences. Les oscillations du circuit oscillant $b^1 R C b^2$ sont transmises par la boule b^1 à une *antenne* A suspendue et isolée au-dessus du sol par un mât M , tandis que l'autre boule, b^2 est reliée avec la terre.

L'antenne, formée de un ou plusieurs fils métalliques, s'élève très haut dans l'atmosphère; de sa hauteur dépend en partie la longueur des ondes émises.

A chaque décharge entre les boules de l'éclateur, l'antenne « vibre » mystérieusement et émet *dans tous les sens* ces ondes hertziennes invisibles et imperceptibles à nos sens, ces ondes qui franchissent ou tournent tous les obstacles et qui se propagent dans l'éther avec la vitesse de la lumière, à 300,000 kilomètres à la seconde !

Il nous reste à décrire l'appareil qui permet de recevoir ces ondes et nous nous expliquerons immédiatement la possibilité de transporter la pensée humaine et pour nous, horlogers, l'heure exacte à travers l'espace sans la servitude du fil métallique.

Appareils sensibles aux oscillations électriques.

On s'est aperçu déjà en 1870 qu'une certaine quantité de limaille métallique contenue dans un tube de verre laissait passer des courants électriques de très haute tension, tandis qu'elle constituait un obstacle infranchissable, tel un corps isolant, au passage de faibles courants. Cette constatation et les expériences qui suivirent furent les préludes de la sensationnelle découverte faite par le physicien Branly en 1890, par laquelle un tube à limaille non conducteur d'électricité devient bon conducteur sous l'effet d'une décharge électrique oscillante provoquée à distance dans son voisinage, et qu'il redevient non conducteur sous le simple effet d'un choc exercé sur la limaille ; voilà donc un appareil sensible aux ondes électriques émises tout à l'heure par l'antenne.

Sur ce principe sont construits les *détecteurs d'ondes*, appelés aussi *cohéreurs*, parmi lesquels nous décrivons le *tube de Branly*.

Un tube de Branly (fig. 75) se compose d'un tube en verre *V* à l'intérieur duquel se trouve un petit tas de limaille métallique *l* (de préférence en métal peu oxydable or ou argent), emprisonnée et plus ou moins comprimée entre deux tampons métalliques *c*, munis de tiges respectives *t* également métalliques.

Relions ces tiges aux pôles d'un élément de pile : le tas de limaille se comporte comme un

corps isolant et ne se laissera traverser par le courant qu'au moment où des ondes électriques résultant d'une décharge oscillante viendront frapper la limaille à travers le tube; alors le courant passera et cela aussi longtemps que le tube ne recevra pas un choc, ne sera pas comme on dit *décohéré* sous le coup du marteau *M*.

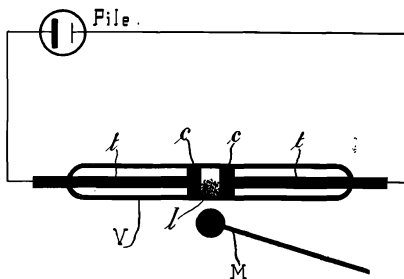


Fig. 75. *Tube de Branly.*

Ce marteau, que nous pouvons manier à la main mais qui, en télégraphie sans fil, agit automatiquement sous l'effet précisément du courant que laisse passer la limaille par l'intermédiaire d'un électro-aimant s'appelle le *décohéreur*. Le tube à limaille est donc l'appareil principal d'un poste récepteur de télégraphie sans fil; on augmente sa sensibilité aux ondes en reliant une de ses tiges *t* avec une antenne analogue à celle employée pour la transmission des ondes hertziennes.

Ce qui se passe au sein de la limaille au moment où les ondes viennent la frapper, nous le savons guère. Ce phénomène est expliqué par plusieurs hypothèses sur lesquelles le monde savant est encore loin d'être d'accord.

Ces phénomènes étant compris, nous pouvons songer à actionner une horloge avec les appareils décrits. Nous apprendrons en même temps à connaître une installation de télégraphie sans fil ; il nous suffira pour cela de remplacer l'horloge par un récepteur télégraphique.



CHAPITRE XII.

Etude et critique du principe de la télégraphie sans fil appliqué à la transmission de l'heure.

Supposons, à Neuchâtel par exemple, un poste émettant des ondes toutes les minutes sous le contrôle et la commande d'une horloge de l'observatoire.

Nous savons que ce poste comprendra en principe :

Un appareil producteur de haute tension ;

Un éclateur avec circuit propre aux décharges oscillantes ;

Une antenne ;

Une horloge de précision, fermant toutes les minutes un circuit électrique qui actionne l'appareil à haute tension et provoque une émission d'ondes.

A La Chaux-de-Fonds, que nous supposerons être un poste récepteur, voici comment, en principe (fig. 76), nous recueillerons ces ondes en vue de leur faire actionner une horloge *H*.

Relions d'une part le cohéreur *C* à la terre, de l'autre à l'antenne isolée *A*, suspendue à un mât ou juchée sur un haut bâtiment.

A Le cohéreur est placé dans le circuit de la pile 1 qui comprend un relais R constitué par un électro-aimant à deux noyaux entre lesquels oscille un levier l . Quand l'électro-aimant est excité par le courant, ce levier est déplacé et entre en contact avec le plot a fermant ainsi le circuit de la pile 2 sur le décohéreur D et l'horloge réceptrice H .

Supposons le système au repos. Aucune onde hertzienne ne traversant l'espace, le cohéreur C

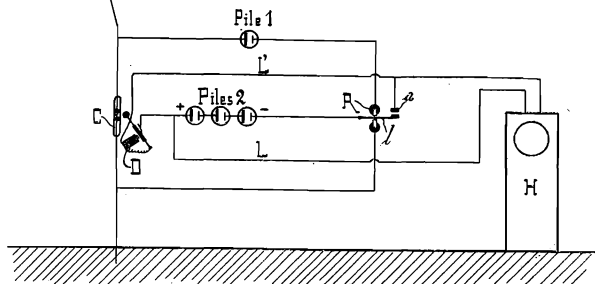


Fig. 76. Poste récepteur actionnant une horloge H .

intercepte le courant de la pile 1 et le levier l du relais R intercepte également celui de la pile 2. Au moment où une décharge oscillante à lieu à Neuchâtel, l'antenne A cueille pour ainsi dire les ondes au passage et les transmet à la limaille du cohéreur C qui alors devient bonne conductrice et laisse passer le courant de la pile 1; celui-ci actionne le relais R , le levier l entre en

contact avec le plot *a* et le courant de la pile 2 passe dans l'horloge *H* et le décohéreur *C* en suivant les chemins ci-dessous :

Pour l'horloge : Pile 2 +. Ligne *L*. Horloge *H*. Plot *a*. Levier *l*. Pile 2 —.

Pour le décohéreur : Pile 2 +. Décohéreur *D*. Ligne *L*'. Plot *a*. Levier *l*. Pile 2 —.

L'horloge est donc actionnée, son aiguille effectue un saut d'une minute et, en même temps, le marteau du décohéreur frappe le tube, décohere la limaille qui intercepte à nouveau le courant de la pile 1 ; le levier *l* du relais revient à sa position initiale et intercepte à son tour le courant de la pile 2. A la prochaine émission d'ondes, le même jeu recommence provoquant un second saut de l'aiguille de l'horloge. *

Si à la place de l'horloge *H* nous avions un appareil télégraphique, celui-ci enregistrerait sur son ruban de papier autant d'émissions d'ondes qu'en provoquerait le poste à Neuchâtel et selon que ces émissions seraient courtes ou longues, espacées ou rapprochées, le ruban présenterait des points ou des traits plus ou moins distants les uns des autres, représentant chacun le signe convenu d'un alphabet.

Si le poste veut non seulement enregistrer mais aussi répondre, on le complètera par les appareils connus qui provoquent les émissions et les deux télégraphistes pourront de part et d'autre échanger des impressions à l'aide de décharges oscillantes conventionnellement plus ou moins brèves et espacées.

Et voilà comment il est actuellement possible d'engager une conversation à travers l'Atlantique, sans fil, à raison de 50 centimes le mot pour le public et 25 centimes pour la Presse; c'est la réalisation d'un rêve à la Jules Verne... et à la portée de toutes les bourses !

Il est superflu de faire le panégyrique d'un tel moyen de communication. Les éloges s'adressent du reste plutôt aux choses défunctes et la télégraphie sans fil est bien vivante, toujours mieux organisée et rend les plus admirables services à l'humanité.

Considéré au point de vue de la transmission électrique de l'heure et comme nous venons de l'exposer, ce système, outre qu'il est très coûteux, est pourtant bien loin d'offrir les garanties du système avec fil.

Une installation telle que nous venons de la décrire, à portée de 20 kilomètres, comprenant donc deux mâts, un poste d'émission et un poste de réception revient actuellement à environ 3500 francs, sans compter la source de courant et les horloges.

Les fils ne sont du reste supprimés que pour l'horloge réceptrice principale, laquelle est reliée par fils aux horloges secondaires. S'il s'agissait véritablement de supprimer tout fil, chaque cadran secondaire devrait alors comporter une antenne, un cohéreur, soit tout l'ensemble des appareils de la fig. 76, ce qui est inadmissible.

Quant au point de vue sécurité, différents phénomènes naturels et artificiels, qu'il est impossible d'éviter, peuvent amener de graves pertur-

bations soit dans l'émission ou la réception des ondes.

Ainsi, un coup de foudre, même très lointain, peut actionner indûment le poste récepteur car les décharges électriques éclatant entre nuages ont très souvent le caractère oscillant propre à l'émission des ondes hertziennes. Une antenne reliée à un cohéreur constitue en effet un excellent appareil pour déceler de très lointains orages. Il existe même des installations spéciales reposant sur la sensibilité de ces appareils pour annoncer l'approche des orages aux agriculteurs. Autre chose encore, quand l'orage éclate au-dessus de l'antenne, il est prudent de prendre des précautions et d'isoler les appareils des atteintes possibles de la foudre : pendant ce temps, la marche des horloges est forcément suspendue.

Le simple passage d'un nuage électrisé comme aussi les variations de température peuvent être causes de perturbations. Chose très curieuse, la lumière solaire influence fortement les ondes hertziennes ; Marconi, dans ses essais de communication entre l'Europe et l'Amérique, constata que l'intensité des signaux reçus était beaucoup plus forte pendant la nuit que durant le jour.

En plus de ces phénomènes naturels, il en est d'autres artificiels qui viennent encore allonger cette liste de perturbations ; c'est la présence d'ondes émanant de postes étrangers. Ces postes sont aujourd'hui répandus par centaines sur l'ancien et le nouveau monde ; leur nombre augmente sans cesse et à défaut de ne pouvoir parler d'enchevêtrement de fils, on a l'inconvénient de voir un poste recevoir des ondes qui ne lui sont pas

destinées, car on se souvient que les ondes se propagent sphériquement dans tous les sens. Il faut ajouter qu'on a réalisé depuis quelques années de sérieux perfectionnements qui laissent entrevoir la possibilité de supprimer cette cause de perturbations qui fut dès le début jugée comme une des plus grave inhérente au système ; nous voulons parler du problème de la *syntonisation* qui consiste à accorder les antennes d'émission et de réception (un peu comme on accorderait deux diapasons) en leur donnant la même fréquence d'oscillations.

C'est dans le but de soustraire le poste récepteur à quelques-unes des causes perturbatrices que nous venons succinctement d'énumérer que MM. Reithoffer et Moravetz de Vienne ont combiné une horloge réceptrice particulière, sensible aux ondes une seconde par minute seulement de façon telle que les ondes étrangères qui pourraient frapper l'antenne pendant les 59 autres soient sans effet.

Voici, fig. 77, l'horloge en question.

Un interrupteur V constitué par un vase partiellement rempli de mercure pivote sur un axe o . Dans le mercure plongent les deux extrémités d'un circuit L relié d'une part à l'antenne A , de l'autre au cohéreur et à la terre T .

Le cohéreur et un relais sont placés dans le circuit de la pile I . Ce relais, lorsqu'il est traversé par le courant de la pile I , ferme le courant de la pile 2 sur la ligne L^1 qui commande le décohéreur et sur la ligne L^2 qui commande l'électro-aimant E dont n est le noyau.

La pile 2, suivant la position d'un second interrupteur à mercure V' pivotant sur l'axe o' , alimente un troisième circuit qui englobe un certain nombre d'horloges secondaires ainsi que l'électro-aimant E' à noyau n' .

Un secteur denté S , pivotant en a , appuie par un bras b sur un levier c fixé sur l'axe o de l'interrupteur V . Ce secteur, sollicité par le ressort r à appuyer contre la goupille g , peut être attiré par le noyau n de l'électro-aimant E ; il engrène avec une roue R solidaire d'un rochet D qui entraîne par le cliquet h fixé sur la roue F , un train de rouage entretenant les oscillations du pendule P .

Le secteur denté porte un bec i placé en regard d'un second bec k porté par le levier coudé B fixé sur l'axe o' du second interrupteur V' . Ce bec k croche sur un appui fixe non représenté sur le dessin. L'extrémité e du levier B peut être attirée par le noyau n' de l'électro-aimant E' .

Dans la position représentée, le système est au repos, le courant des piles 1 et 2 interrompu. Supposons maintenant que des ondes hertziennes viennent frapper l'antenne A . Aussitôt, la limaille du cohéreur devenant conductrice, laisse passer le courant de la pile 1 qui actionne le relais. Ce relais, comme nous le savons, ferme le courant de la pile 2 sur les lignes L^1 et L^2 , ce qui a pour effet d'exciter l'électro-aimant E qui attire brusquement le secteur denté S , lequel, par ce mouvement, incline l'interrupteur V grâce à la pression du bras b sur le levier c ; cette position inclinée que lui fait prendre le secteur inter-

rompt le circuit de la ligne L qui va à l'antenne A , car alors les deux extrémités de la ligne ne plongent plus dans le mercure. L'antenne se trouve donc isolée des appareils tant que le niveau du mercure de l'interrupteur n'a pas repris sa position horizontale. De cette façon, si des ondes étrangères viennent à frapper l'antenne, elles sont sans effet.

Le mouvement du secteur denté a opéré une rotation du rochet D dont les dents glissent sur le cliquet h sans entraîner la roue F ; en même temps, le bec i vient buter contre le bec k qui décroche et laisse tomber le levier coudé B sur la goupille g' . L'interrupteur V' qui tout à l'heure était ouvert, est maintenant fermé puisque la surface de mercure étant horizontale touche les deux extrémités du fil. Le courant de la pile 2 passe dans le circuit des horloges secondaires dont les aiguilles sont toutes actionnées. Mais, en même temps, le courant passe aussi dans l'électro-aimant E' dont le noyau n' attire l'extrémité e du levier B qui reprend sa première position, c'est-à-dire celle dessinée et où l'interrupteur V' , étant incliné, interrompt à nouveau le circuit. Le bec k recroche sur son appui fixe et maintient le levier dans cette position; le courant qui passe en outre dans la ligne L^1 a actionné le décohéreur dont le marteau a frappé le tube; la limaille est redevenue non conductrice et aucun courant ne passe plus dans les appareils. Mais, sous l'effort du ressort r , le secteur denté S entraîne la roue F par la roue R , le rochet D , le cliquet h et actionne le pendule P . Le secteur revient donc lentement à sa position première; l'interrupteur V

accompagne ce mouvement et au bout d'un certain temps se retrouve finalement dans la position dessinée horizontale, c'est-à-dire fermant la ligne *L* qui va à l'antenne. Dans l'horloge qui fonctionne à Vienne, le secteur *S* effectue ce mouvement en 59 secondes. A la 59^{me} seconde, la ligne *L* de l'antenne se trouve donc fermée et si de nouvelles ondes hertziennes viennent la frapper, il en résulte un second saut des aiguilles des horloges secondaires et un nouvel armage

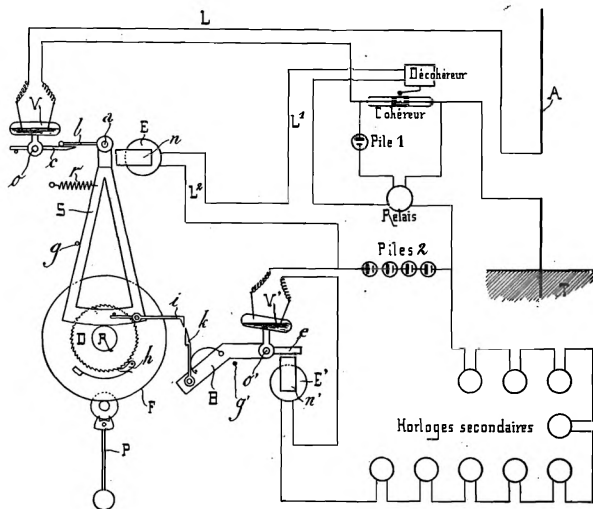


Fig. 77. Horloge réceptrice, système Reithoffer & Morawetz.

du secteur. Pendant 59 secondes, l'antenne est de nouveau isolée des appareils. L'horloge centrale commande l'émission des ondes hertziennes toutes les 60 secondes.

Supposons qu'à la 59^{me} seconde, au moment où l'interrupteur *V* est fermé, une onde étrangère actionne les horloges. Celles-ci déclancheront comme si c'était l'onde régulière qui avait agit. L'interrupteur *V* s'incline et quand sitôt après, à la 60^{me} seconde, arrive l'onde régulière, elle reste sans effet. Les horloges secondaires avancent donc de 1 seconde sur l'horloge principale.

Si à la 2^{me} minute, des ondes étrangères continuant de traverser l'espace actionnent encore cette fois les horloges à la 59^{me} seconde, l'avance sur l'horloge centrale sera de 2 secondes. Il faudrait que les ondes étrangères soient bien fréquentes pour qu'une 3^{me}, 4^{me} ou 5^{me} fois encore elles agissent en lieu et place de l'onde régulière.

Si toutefois ceci avait lieu, lorsque pourtant à la 6^{me} minute l'antenne n'est frappée par aucune onde étrangère, le déclanchement des appareils ne se produira qu'au moment de l'onde régulière, soit à la 60^{me} seconde de la 6^{me} minute. De cette façon, l'avance de 5 secondes est corrigée d'un seul coup et les horloges secondaires sont complètement d'accord avec l'horloge centrale.

Nous avons somme toute à faire ici à un système de remise à l'heure s'exerçant toutes les minutes, et il n'est pas nécessaire d'insister beaucoup sur le point faible d'un tel système. Après ce que nous avons dit des causes perturbatrices inhérentes à la télégraphie sans fil, il est aisé de

voir qu'il ne les évite pas toutes et surtout qu'il est en plus assez compliqué et très coûteux: un simple fil remplacerait le tout avantageusement sous tous les rapports.

Etablie dans d'autres conditions, la remise à l'heure par les ondes hertziennes ayant lieu à de grands intervalles, par exemple toutes les 24 heures, un tel système aurait davantage sa raison d'être et encore faudrait-il que l'installation desservie de cette façon en vaille la peine, qu'elle s'étende sur tout un pays possédant de grands et nombreux réseaux secondaires, englobant les cadrans des bâtiments d'administration, postes, gares, écoles, édifices publics. Quelques minutes seraient réservées à une heure convenue du jour ou de la nuit pour le service de l'émission d'ondes correctrices dont se chargerait un observatoire.

Et encore, ce dernier système pour être un jour adopté par un Etat devra-t-il présenter au moins la sécurité et l'économie du système actuel avec fil.

Mais à côté de ce problème, et toujours au point de vue chronométrique, il en est d'autres où les ondes hertziennes apportent de sérieux progrès et de véritables innovations.

Pour le moment, en fait de résultats pratiques, le principe de la transmission de signaux par ondes hertziennes a trouvé une application heureuse pour la comparaison de chronomètres et de pendules à distance, par la méthode des coïncidences.

Voyons d'abord rapidement ce qu'on entend par cette méthode des coïncidences d'un usage

journalier pour la remise à l'heure des centres secondaires dépendant d'un observatoire. Prenons encore l'exemple de Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds.

Tous les jours, à 1 h. 31 min., une horloge de précision, indiquant l'heure astronomique, envoie de Neuchâtel, par fil, un courant électrique qui déclanche à l'Ecole d'horlogerie de La Chaux-de-Fonds un pendule qui fait 61 oscillations à la minute. Les oscillations de ce pendule (appelé pendule à coïncidence) sont nettement perceptibles à l'oreille de l'observateur qui les compare acoustiquement avec celles du régulateur à remettre à l'heure. Partant de la première oscillation du pendule à coïncidence, il en compte mentalement les battements jusqu'à l'instant précis où il perçoit qu'une des oscillations du pendule coïncide avec une de celles du régulateur, et il note le rang de cette oscillation. Comme le pendule à coïncidence fait 61 oscillations pendant que le régulateur n'en fait que 60, la comparaison des battements des deux pendules constitue une sorte de vernier acoustique permettant d'évaluer à 1/60 de seconde près l'avance ou le retard de l'un sur l'autre.

Prévoyant le cas où l'observateur aurait manqué sa première observation, un second déclanchement est opéré à 1 h. 33 min.

Jusqu'ici, cette méthode de comparaison était réalisée par fil ; il a été établi en 1904, par M. Albrecht de Postdam que le principe de la télégraphie sans fil appliqué à cette méthode donnait, quant à la précision, les mêmes résultats qu'avec fil ; et, tout dernièrement, dans une

note présentée à l'Académie des Sciences, à Paris, MM. Claude, Ferrié et Driencourt ont proposé une nouvelle méthode également basée sur le principe de la télégraphie sans fil et qui aurait le mérite d'être plus précise encore.

Avec cette méthode, l'observateur perçoit directement dans un récepteur téléphonique les battements d'un pendule à coïncidence placé dans l'observatoire, exactement comme s'il était relié par téléphone avec l'observatoire même.

Les battements de l'horloge à coïncidence lui sont transmis par un train d'ondes hertziennes provoqué à chaque oscillation du pendule muni à cet effet du dispositif à contact représenté par la fig. 78.

Le pendule P suspendu en S est muni d'une barrette en argent e . De part et d'autre de cette barrette sont fixées, sur le bâti de la pendule, des glissières v portant deux ressorts circulaires en fil d'argent c .

Deux vis micrométriques permettent de déplacer ces ressorts à volonté.

Les ressorts c sont reliés par les fils a et b à une source de courant qui commande les décharges d'un poste de télégraphie sans fil.

Le pendule en oscillant (position P') abandonne un des ressorts et à chaque passage par la verticale (position P) ferme le circuit $a b$ et détermine une décharge.

Les déplacements possibles des ressorts c permettent d'obtenir une durée de contact des ressorts et de la barrette propre à l'émission d'une

seule étincelle, soit d'un seul train d'ondes pour chaque oscillation, de façon que l'observateur perçoive nettement un seul bruit à chaque contact.

Ce procédé de comparaison expérimenté entre Paris et Brest aurait donné des résultats d'une précision non atteinte jusqu'ici avec les anciennes méthodes.

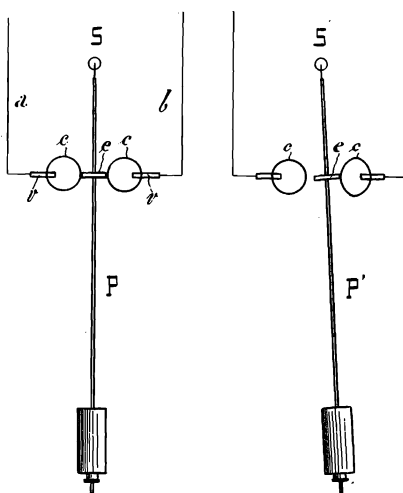


Fig. 78.

Une dernière application plus récente encore de la télégraphie sans fil est l'envoi quotidien de l'heure de Paris aux navires en mer par le poste

de la tour Eiffel, service qui fonctionne depuis le 23 mai 1910.

Isolé sur la mer, le marin n'a pour se guider que les astres, la boussole et le chronomètre de marine. Au cours d'un voyage de plusieurs semaines, le meilleur chronomètre peut faire un écart de quelques secondes qui se traduit aussitôt, comme il est aisé de s'en rendre compte, par des écarts linéaires de plusieurs kilomètres. En effet, la Terre faisant un tour complet en 24 heures parcourt donc 360° ; en 1 heure elle en par-

courra $\frac{360^\circ}{24^\circ} = 15^\circ$ et en 1 seconde $\frac{15^\circ}{3600''} =$

15 secondes d'arc qui correspondent à environ 450 mètres. Ainsi, une erreur de 2 secondes suffit pour tromper le marin sur une distance de 900 mètres, erreur qui peut être grave dans certains passages dangereux où la carte marine signale des écueils.

Aujourd'hui, grâce aux ondes hertziennes, le marin, où qu'il soit, peut régler son chronomètre sur l'heure de Paris aussi aisément que si son navire était relié par fil avec un observatoire.

Le poste télégraphique de la tour Eiffel, pour un instant sous la commande d'une horloge de précision, envoie automatiquement chaque nuit des signaux que l'officier de bord reçoit dans l'ordre suivant :

De 11 h. 59 min. à 11 h. 59 min. 55 sec., une série de traits à titre d'avertissement ; à minuit exact, un signal bref ; de minuit 1 min. à minuit 1 min. 55 sec. nouvelle série d'avertissements comprenant un trait deux points, un trait deux points, etc... puis, à minuit 2 min. exact

Table des Matières

Première Partie. — Notions Théoriques.

CHAPITRE PREMIER.

	Pages
Préface de M. Léopold Reverchon	III
Introduction	XI
Qu'est-ce que l'électricité?	1
La pile et le courant électrique	6
La mesure des courants	12
Force électro-motrice	14
Résistance des conducteurs	16
Intensité de courant	18
Loi d'ohm	20

CHAPITRE II.

La pile	22
La pile de l'horloger	26
Pile sèche ou pile humide	29
Couplage des piles	30
Groupeement des appareils	36
Calcul du nombre d'éléments	42

CHAPITRE III.

L'aimantation	45
Attractions et répulsions	51
L'électro-aimant	53
Formes, dimensions et calcul d'un électro-aimant	55
Electro-aimant cuirassé	71
Electro-aimants à action étendue, bobines et plongeurs	73

	Pages
Electro-aimants à courant alternatif.	77
Armatures neutres et polarisées	78
La désaimantation.	79

CHAPITRE IV.

L'induction	84
Les courants de Foucault	90
Le moteur électrique	94

CHAPITRE V.

L'étincelle nuisible.	99
Moyens d'éviter l'étincelle	103
La question des contacts.	110
Le relais	114

CHAPITRE VI.

Les instruments de mesure.	117
Emploi du voltmètre et de l'ampèremètre	124

Deuxième partie. — Les applications.

CHAPITRE VII.

	Pages
Généralités sur les horloges électriques	131
Applications de l'électro-aimant aux mécanismes d'horlogerie	135
<i>Horloge à remontage automatique</i>	
<i>Vve David-Perret fils, à Neuchâtel</i>	135
<i>Horloge à remontage automatique</i>	
<i>Normal Zeit, à Berlin</i>	139
<i>Horloge réceptrice Vve David-Perret</i>	
<i>fils, à Neuchâtel</i>	140
<i>Horloge réceptrice A. Favarger & Co.,</i>	
<i>à Neuchâtel</i>	142
<i>Horloges réceptrices A. Favarger &</i>	
<i>Co., à Neuchâtel</i>	145
<i>Horloge réceptrice Th. Wagner</i>	
<i>(système Grau), à Wiesbaden</i>	150
<i>Sonnerie électrique système Max</i>	
<i>Möller, à Berlin</i>	152
<i>Horloge à remontage automatique,</i>	
<i>système Schweizer modifié</i>	154

CHAPITRE VIII.

Applications de l'électro-aimant et du solénoïde au pendule	159
<i>Pendule Hipp</i>	159
<i>Pendule à frein électro-magnétique</i>	
<i>système Favarger</i>	168
<i>Pendule électro-magnétique de</i>	
<i>M. Baumann</i>	177
<i>Pendule électrique Siemens Schuckert</i>	
<i>Werke</i>	180
<i>Pendule à restitution électrique</i>	
<i>constante de M. Ch. Féry</i>	182
<i>Pendule sans lien matériel de</i>	
<i>M. Ch. Féry</i>	185
<i>La synchronisation des pendules</i>	187

CHAPITRE IX.

	Pages
Applications du moteur électrique	191
<i>Horlogemère de la Société «Magna»</i>	
<i>à Zurich</i>	192
<i>Horloge à remontage électrique de</i>	
<i>la Société «Silentia», à Besançon.</i>	195
<i>Horloge réceptrice de la Société</i>	
<i>«Silentia», à Besançon.</i>	198

CHAPITRE X.

Liste des brevets suisses délivrés de 1889 à 1910 concernant les applications de l'électricité aux appa- reils à mesurer le temps.	200
--	-----

Troisième partie.

Ondes hertziennes et horloges électriques.

CHAPITRE XI.

	Pages
La télégraphie sans fil.	211
Appareils producteurs de haute tension.	214
Appareils producteurs d'oscillations électriques	224
Appareils sensibles aux oscillations électriques	230

CHAPITRE XII.

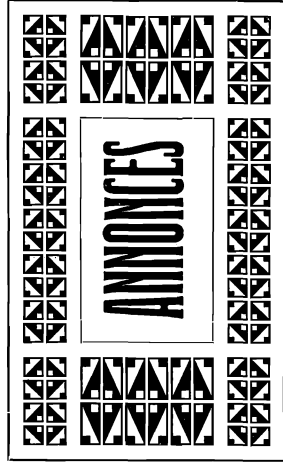
Etude et critique du principe de la télégraphie sans fil appliqué à la transmission de l'heure	233
---	-----

IMPRIMÉ EN 1910 PAR

FRITZ METTLER-WYSS & FILS

A LA CHAUX-DE-FONDS

TOUS DROITS RÉSERVÉS



FAVARGER & C^{IE}

NEUCHÂTEL (SUISSE)

SUCCESEURS DE HIPP ET DE PEYER,
FAVARGER & C^{ie}

SPÉCIALITÉ D'APPAREILS ÉLECTRIQUES POUR LA MESURE DU TEMPS

GRANDS PRIX PARIS 1900
et MILAN 1906

Nouveaux types simplifiés D'HORLOGES SECONDAIRES ÉLECTRIQUES à MINUTE avec armatures rotatives dentées (brevets Favarger), pour cadrans depuis 0^m20 à trois mètres de diamètre et au-dessus.

HORLOGES SECONDAIRES ÉLECTRIQUES système HIPP.
Horloges de CLOCHERS électriques.

STATIONS CENTRALES D'UNIFICATION ÉLECTRIQUE de L'HEURE pour VILLES avec horloges-mères à GRANDE CAPACITÉ et tous appareils accessoires.

HORLOGES-MÈRES ÉLECTRIQUES ou à POIDS pour réseaux restreints avec capacité variant depuis 20 à 1000 cadrans de n'importe quels diamètres.

HORLOGES-MÈRES ET SECONDAIRES avec CONTACTS pour signaux ACOUSTIQUES ou OPTIQUES de n'importe quelle durée ou fréquence, avec horaires fixes ou variables à volonté.

HORLOGES-MÈRES DE PRÉCISION avec horloges secondaires de tous diamètres battant la seconde, pour observatoires, laboratoires scientifiques, atelier de réglage de montres de précision, etc.

CHRONOSCOPES et CHRONOGRAPHES ÉLECTRIQUES avec régulateur à LAME VIBRANTE de HIPP pour indiquer ou enregistrer l'instant ou la durée d'un phénomène de $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ et même $\frac{1}{10000}$ de seconde près, etc., etc.

ÉTUDES, PROJETS ET DEVIS

CATALOGUES ILLUSTRÉS • RABAIS AUX REVENDEURS

FABRIQUE SUISSE
de
Piles Electriques
FLEURIER

**Piles Sèches
et à Liquide
ACCESSOIRES**



**Brevet
et Procédés
DELAFFON**



**Fournisseurs de la Direction Générale
des Télégraphes Suisses et des
Chemins de Fer Fédéraux**



Catalogue à disposition des Electriciens



L'Horloge
électrique

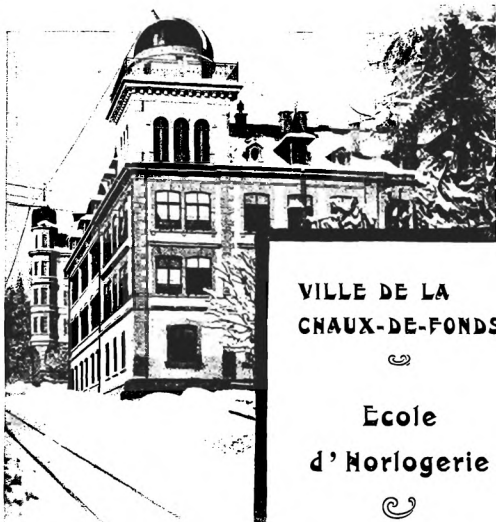
DAVID PERRET

DONNE L'HEURE
À
toute la Suisse

Les horloges électriques
DAVID PERRET
se remontent
automatiquement
NEUCHÂTEL
SUISSE

NEUCHÂTEL

Horloge astronomique
à l'observatoire de Neuchâtel



VILLE DE LA
CHAUX-DE-FONDS



Ecole
d'Horlogerie



Ecole d'horlogerie technique. Forme des techniciens pour la fabrication des ébauches et de la montre, des régleurs de précision, etc.

Diplôme d'horloger-technicien délivré par l'Etat de Neuchâtel.

Ecole d'horlogerie pratique pour l'étude pratique et théorique des montres simples.

Cours spéciaux pour l'étude de la fabrication par procédés mécaniques du rhabillage, des montres compliquées, du réglage, des échappements, etc.

Cours de réglage pour jeunes filles.

Cours préparatoires pour jeunes filles et garçons.

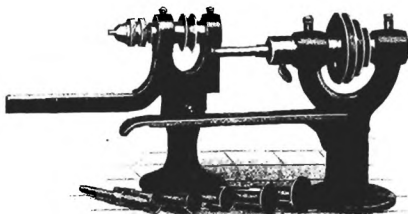
Pour tous renseignements, s'adresser à la Direction
ou au Secrétariat de l'Ecole.

ATELIER DE CONSTRUCTION MÉCANIQUE ETZENSBERGER FRÈRES

CHAUX-DE-FONDS

TÉLÉPHONE
1110

JAQUET-DROZ, 13



Fabrication de Machines et outillage complet pour le montage, le polissage et le finissage des boîtes de montres
Installations complètes d'ateliers. Plans et devis à disposition.

Hermann Fatton

BIENNE (Suisse)

Outils et Fournitures pour toutes les
parties de l'Horlogerie.

Acier en bandes, fils et tringles.

Laiton, Nickel, Chromocole

Tombac en planches rondelles et disques
pour fabriques de boîtes.

Fournitures pour Usines. Vente des poulies Standard

BIBLIOTHÈQUE ✿ HORLOGÈRE ✿

Horlogerie Théorique par Jules Grossmann père & H. Grossmann fils (2 volumes).

Agenda de l'Horloger 1910 (Rédacteur en chef : H. Grossmann). Recommandé par les principaux journaux techniques. Indispensable à tout bon horloger. — Prix : fr. 2.—

Les Montres de Tir au point de vue historique, décoratif, etc. 2^{me} édition avec plus de 80 figures dans le texte.

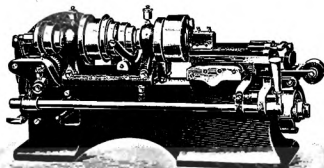
Archives de l'Horlogerie. Première partie: Recueil des marques de fabrique horlogères déposées à Berne au Bureau International et au Bureau Fédéral de la propriété intellectuelle. — Seul ouvrage contenant les marques originales avec répertoire alphabétique et descriptif. — Trois volumes parus, quatrième en cours. Prix du vol. : fr. 20.—

En vente dans les principales librairies et chez l'éditeur E. MAGRON, Berne et Bienne.

MIKRON

FABRIQUE DE MACHINES (S. A.) BIENNE - MADRETSCH

LA MIEUX INSTALLÉE POUR LA PARFAITE EXÉCUTION
— DES MACHINES CONCERNANT L'HORLOGERIE —



MACHINE SEMI-AUTOM. A TOURNER LES NOYURES (NOUV. MOD.)

Cette machine permet
de faire simple, double
et triple noyures.

Tours de mécanicien perfectionnés

Demandez
le Catalogue

Les brevets d'inventions
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.

BREVETS D'INVENTION

MARQUES DE FABRIQUE.-DESSINS.-MODÈLES.
OFFICE GÉNÉRAL, FONDÉ EN 1888 LA CHAUX-DE-FONDS.

MATHEY-DORET Ingr. Conseil



Demandez notre catalogue et prix-courant.

CLICHÉS
Photogravure
Georges Courvoisier
La Chaux-de-Fonds
37
Rue du Grenier



Téléphone
N° 838
CLICHÉS

GALVANOPLASTIE

Les Clichés de ce guide Souvenir sont exécutés dans nos ateliers

Clichés artistiques en tous genres Clichés de Montres



MONITEUR SUISSE DES BREVETS, MARQUES, DESSINS
ET MODÈLES CONCERNANT L'HORLOGERIE
ET LES INDUSTRIES ANNEXES

INVENTIONS-REVUE

s'adresse à tous les horlogers, négociants, industriels, ouvriers, chercheurs, inventeurs qui veulent se tenir au courant des progrès de l'industrie horlogère.

Elle publie des chroniques de tous les faits récents dans le domaine de la Propriété industrielle, la description des mécanismes d'horlogerie, des machines, des outils et des procédés les plus nouveaux ainsi que le compte-rendu des découvertes ou perfectionnements concernant l'horlogerie et les branches annexes.

Elle tient ses lecteurs au courant des modifications qui se produisent dans la législation suisse et dans la législation des autres pays où se fabrique de l'Horlogerie, principalement la France, l'Allemagne, l'Angleterre et les Etats-Unis d'Amérique.

Dans ce but, « Inventions-Revue » publie non seulement la nomenclature de **tous les brevets d'horlogerie ou branches annexes délivrés en Suisse**, mais encore une reproduction **des dessins** et des revendications de tous ces brevets.

En outre, « Inventions-Revue » publie la description **en français et les dessins** des brevets américains, anglais, allemands et français, les plus intéressants concernant l'Horlogerie.

RÉDACTION ET ADMINISTRATION :

70, RUE LÉOPOLD ROBERT
LA CHAUX-DE-FONDS

MAISON FONDÉE
EN 1900

Imprimerie Moderne

Fritz Mettler-Wyss & Fils

La Chaux-de-Fonds

TÉLÉPHONE

1127

ÉTABLISSEMENT ARTISTIQUE POSSÉDANT
LES DERNIÈRES CRÉATIONS
DE L'INDUSTRIE DU LIVRE

IMPRIMEURS
D'INVENTIONS - REVUE

CHOIX INCOMPARABLE
DE CARACTÈRES ET VIGNETTES CLASSIQUES ET MODERNES

PROJETS - CROQUIS - DEVIS

Prix sans Concurrence

TOUS LES TRAVAUX SORTANT
DE L'IMPRIMERIE MODERNE
SONT EXÉCUTÉS DANS LE GOUT ESTHÉTIQUE
DU JOUR ET REVÊTENT
UN CACHET ARTISTIQUE

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS
MÉCANIQUES

A. BECHLER & C^o

MOUTIER (SUISSE)

Machines de haute précision pour l'horlogerie, la pendulerie
la lunetterie, l'appareillage électrique, la photographie, etc.

Etampes en tous genres

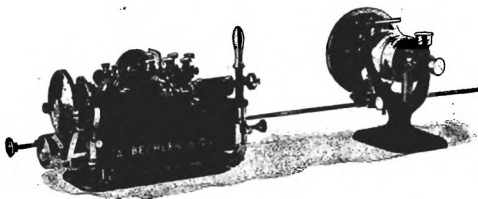
SPECIALITÉS :

MACHINES AUTOMATIQUES A DÉCOLleter

pour la fabrication des pignons, des vis, tiges,

arbres, piliers, axes, etc.

MACHINES AUTOMATIQUES A TAILLER, avec ou sans chargeurs



Machine automatique à tailler les pignons, à 1, 2 ou 3 fraises

Environ 600 Machines à décoller vendues en 4 ans

Ce chiffre, plus éloquent que toute autre réclame, montre la supériorité de nos modèles (qui sont du reste adoptés par les premières maisons de fournitures) sur les autres produits similaires. Quels sont donc leurs grands avantages ?

1. Le prix très modéré de nos machines.
2. Le prix excessivement minime de l'outillage.
3. La haute précision du travail qu'elles fournissent ($\frac{1}{1000}$ mm.)
4. La forte production.
5. La rapidité de mise en train. (Quelques secondes).
6. La simplicité du réglage.

Toutes les machines sont soigneusement essayées avant leur livraison

Demandez prix et prospectus.

G. RUSSBACH-MATILE & Co

RUE JAQUET-DROZ, 47

LA CHAUX-DE-FONDS

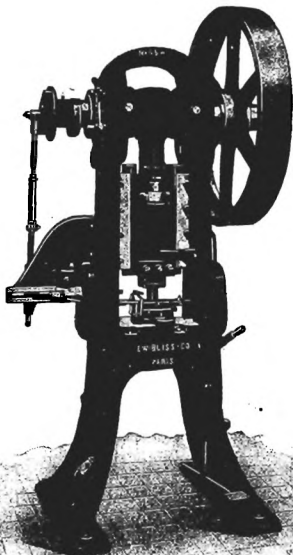
BLOCS A COLONNES. OUTILLAGES

pour articles estampés, emboutis, découpés ou poinçonnés

Matrices Simples ou Automatiques

Découpages de pièces en séries

- - - pour toutes les industries - - -



Concessionnaires Exclusifs
pour la Suisse de :

E. W. BLISS Co.
PARIS-BROOCLYN



Grands Prix :

Paris 1900. St-Louis 1904
Londres 1906



CATALOGUES
ET RENSEIGNEMENTS
SUR DEMANDE



Adresse Télégraphique :

BACMAT



TÉLÉPHONE
1179



Presse „Bliss“ 53-W avec aménagement automatique à pince
de nouveau système à grande précision.