

L'ÉLECTRICITÉ

ET SES

APPLICATIONS A LA CHRONOMÉTRIE

COMMUNE DE NEUCHÂTEL
ÉCOLE D'HORLOGERIE

Genève. — Imprimerie L.-E. Privat, rue Petitot, 7

L'ÉLECTRICITÉ

ET SES

APPLICATIONS A LA CHRONOMÉTRIE

PAR

A. FAVARGER

ingénieur

AVEC 139 FIGURES DANS LE TEXTE

DEUXIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

GENÈVE

ÉDITÉ PAR LE COMITÉ-DIRECTEUR DU JOURNAL SUISSE D'HORLOGERIE

—
1892

COMMUNE DE NEUCHÂTE
ÉCOLE D'HORLOGERIE

PRÉFACE DE LA DEUXIÈME ÉDITION

L'auteur a mis à profit l'occasion que lui offrait la réimpression de son ouvrage, pour le compléter par l'adjonction de divers chapitres et paragraphes concernant les uns la mesure des résistances et des forces électro-motrices, les autres les études préliminaires, l'installation et l'entretien d'un réseau public d'horloges électriques. Il a en outre donné la description d'un nouvel appareil, le pendule à étoile artificielle, qui a pour but l'étude des équations personnelles des astronomes. Enfin il a notablement augmenté et amélioré les figures qui accompagnaient le texte primitif.

Il a cherché ainsi à agrandir le cercle de ses lecteurs qui, à l'origine, était surtout composé d'horlogers (abonnés du *Journal suisse d'Horlogerie* paraissant à Genève; voir la préface de la première édition) et d'élèves des écoles d'horlogerie de langue française.

Les nombreux renseignements pratiques qu'il donne au chapitre VIII, et qui sont le résultat d'une longue expérience

PRÉFACE DE LA DEUXIÈME ÉDITION

L'auteur a mis à profit l'occasion que lui offrait la réimpression de son ouvrage, pour le compléter par l'adjonction de divers chapitres et paragraphes concernant les uns la mesure des résistances et des forces électro-motrices, les autres les études préliminaires, l'installation et l'entretien d'un réseau public d'horloges électriques. Il a en outre donné la description d'un nouvel appareil, le pendule à étoile artificielle, qui a pour but l'étude des équations personnelles des astronomes. Enfin il a notablement augmenté et amélioré les figures qui accompagnaient le texte primitif.

Il a cherché ainsi à agrandir le cercle de ses lecteurs qui, à l'origine, était surtout composé d'horlogers (abonnés du *Journal suisse d'Horlogerie* paraissant à Genève; voir la préface de la première édition) et d'élèves des écoles d'horlogerie de langue française.

Les nombreux renseignements pratiques qu'il donne au chapitre VIII, et qui sont le résultat d'une longue expérience

personnelle, intéresseront de préférence les personnes appelées à s'occuper, d'une manière ou d'une autre, de l'installation et de l'entretien de réseaux d'horloges électriques (directeurs d'observatoires, administrateurs de villes, ingénieurs, horlogers-électriciens, monteurs, etc.).

NEUCHÂTEL, décembre 1891.

A. F.

L'ÉLECTRICITÉ

ET SES

APPLICATIONS A LA CHRONOMÉTRIE

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

I

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ

L'état actuel des connaissances humaines ne permet pas de donner une définition précise de l'électricité. La nature de cet agent mystérieux fait encore aujourd'hui l'objet des conjectures et des hypothèses des physiciens. On admet généralement qu'il est une force particulière en vertu de laquelle les atomes, ou parties infiniment petites de la matière, tendent à s'orienter d'une certaine façon les uns par rapport aux autres, ou comme on dit à être *polarisées*.

Les causes qui développent de l'électricité sont nombreuses ; on peut les diviser en sources mécaniques, physiques et chimiques.

Les *sources mécaniques* sont le frottement, la pression et la séparation des molécules. Par exemple, un bâton de cire à cacheter ou un tube de verre que l'on frotte avec un morceau de drap, acquièrent la propriété d'attirer les corps légers, tels

que de petites feuilles de papier, des barbes de plume, etc. ; un morceau de sucre que l'on casse produit dans l'obscurité une lueur due à l'électricité dégagée au moment de sa rupture.

Les *sources physiques* sont la chaleur, le magnétisme et l'électricité elle-même : deux métaux différents, soudés ensemble et chauffés inégalement, développent de l'électricité ; les corps électrisés agissent puissamment sur ceux qui ne le sont pas, et électrisent ceux-ci par *influence* ; un aimant que l'on approche et éloigne alternativement d'un fil métallique engendre dans ce dernier des courants électriques (*induction*).

Les *sources chimiques* sont les combinaisons entre deux substances différentes : les métaux, comme le zinc ou le fer, plongés dans un acide, sont attaqués par lui ; et cette réaction donne naissance à des courants électriques (*piles électriques*).

Quand l'électricité est obtenue par le frottement, on lui donne le nom d'électricité *statique*, d'un mot latin qui veut dire rester au repos, parce qu'alors l'électricité se montre à l'état d'équilibre à la *surface* des corps. Au contraire, on désigne sous le nom d'électricité *dynamique*, d'un mot grec qui signifie force ou puissance, l'électricité dégagée dans les actions chimiques et dans les phénomènes d'induction, parce qu'elle se manifeste par une circulation dans la *masse* des corps, comme si elle se trouvait sous l'influence d'une force continue (*courants électriques*).

Nous n'avons pas à nous occuper ici des phénomènes d'électricité statique ou de frottement ; ils n'ont qu'une relation très indirecte avec les courants utilisés dans les applications de l'électricité à la chronométrie ; tout au plus dirons-nous plus tard quelques mots des moyens employés pour mettre les appareils électriques à l'abri de la foudre (la foudre est une des manifestations de l'électricité atmosphérique, et comme telle appartient à la catégorie des phénomènes d'électricité statique).

L'électricité dynamique, avons-nous dit, se manifeste par une circulation continue dans la masse des corps, par un *courant*. Cette électricité peut être produite par une action chimique, et alors elle prend le nom de *voltaïque* (de Volta, inventeur de la pile), ou aussi de *galvanique* (de Galvani, qui fit la première expérience relative à ce genre d'électricité). Elle peut aussi être

produite dans un fil métallique lorsque, dans le voisinage de ce dernier, on fait mouvoir un second fil métallique parcouru par un courant voltaïque, ou lorsqu'en laissant immobile ce second fil, on interrompt et rétablit alternativement le courant voltaïque ; ou enfin lorsqu'au lieu du fil parcouru par un courant, c'est un *aimant* que l'on fait mouvoir en présence du premier fil ; dans ces trois cas, l'électricité développée dans le premier fil (fil induit) est dite d'*induction*.

Cette électricité d'induction est celle qu'engendrent, en plus ou moins grande quantité, la bobine de Rhumkorff et les machines magnéto et dynamo-électriques ; dans ces dernières, elle est généralement beaucoup plus intense que celle produite par les piles, et est utilisée pour l'éclairage électrique, le transport des forces motrices, l'inflammation des mines, etc. Elle est également en jeu dans les appareils de transmission des sons, tels que les téléphones et les microphones. Nous n'aurons ici que peu d'occasions d'en parler. Il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque, qui est à la base de tous les appareils d'horlogerie électrique, et à laquelle, par conséquent, nous devons vouer une plus grande attention.

Piles électriques. — On appelle *couple voltaïque* ou *élément de pile*, un appareil composé de deux lames conductrices plongées dans un liquide qui a plus d'action sur l'une que sur l'autre. Lorsque plusieurs couples ou éléments sont réunis les uns aux autres, leur ensemble prend le nom de *pile*.

Le courant voltaïque se produit dans un élément lorsqu'on réunit, par un fil métallique ou un corps quelconque conducteur, les extrémités des deux lames qui constituent l'élément. Ces extrémités portent le nom de *pôles* ; elles sont ordinairement munies de *bornes* (ou *serre-fils*), dans les quelles on serre les bouts du fil où doit se manifester le courant. Il y a diverses manières de constater la présence de ce courant ; la plus simple consiste à couper en un point *a* (fig. 1) le fil réunissant les deux lames *b b'*, et à appliquer sur la langue les deux bouts

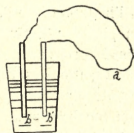


Fig. 1

ainsi obtenus : le passage du courant se révèle par un picotement particulier et une saveur acide.

L'intensité du courant produit par un couple est d'autant plus grande que la différence des actions chimiques exercées sur les lames est elle-même plus considérable. Le liquide destiné à réagir sur ces lames est ordinairement un acide; les lames elles-mêmes sont métalliques; souvent l'une d'elles est du charbon.

Les substances qui produisent les réactions les plus énergiques avec l'acide sulfurique ou l'acide nitrique étendus d'eau sont celles qui, dans le tableau suivant, se trouvent les plus éloignées l'une de l'autre :

Oxygène, soufre, charbon, platine, or, argent, cuivre, fer, plomb, étain, zinc, hydrogène, aluminium.

Il résulte de là qu'un couple formé de charbon et de zinc plongés dans de l'acide sulfurique dilué, donnera plus de courant qu'un autre couple où l'on emploierait le cuivre et le zinc.

La valeur d'une pile ne dépend pas seulement de sa *force*; elle dépend aussi de sa *constance*, c'est-à-dire de la régularité de son action.

Deux causes peuvent compromettre cette constance: l'une consiste en ce que le métal le plus attaquant (ordinairement du zinc) qu'on appelle aussi *plaque positive*, vient, à la suite de diverses transformations chimiques, se déposer sur la plaque la moins attaquant (cuivre ou charbon) ou *plaque négative*, en sorte qu'au lieu d'avoir deux métaux dissemblables, on a deux plaques identiques, lesquelles, d'après la définition même de la pile, sont incapables de produire un courant (ou plutôt produisent deux courants opposés qui tendent à s'annuler). L'autre cause est due à l'hydrogène de l'eau qui, mis en liberté en excès, se porte sur la plaque négative et se substitue en partie au métal de cette dernière; or, comme l'hydrogène, par rapport au zinc, est électro-positif, il en résulte que le courant dû au couple hydrogène-zinc est de sens inverse à celui qui est dû au couple primitif cuivre (ou charbon)-zinc; le premier tend à affaiblir le second; il peut même l'annuler complètement, et alors il arrive que le sens du courant produit aux bornes de l'élément se renverse; on dit dans ce cas que la pile est *polarisée*. Cette polarisation se

produit peu à peu au fur et à mesure du fonctionnement de la pile.

On appelle piles *impolarisables* ou *constantes* celles qui sont construites de façon à empêcher de se produire les deux phénomènes dont nous venons de parler.

Les meilleures sont celles dans lesquelles la plaque négative est plongée dans une dissolution saturée du sel du métal dont elle est faite. L'hydrogène étant entièrement employé à séparer le métal de la dissolution, aucune portion ne prendra la forme gazeuse, ni ne recouvrira la plaque; d'autre part, le métal mis en liberté étant le même que celui de cette plaque, celle-ci s'en recouvre et conserve vis-à-vis de la plaque positive ses qualités électro-négatives.

La meilleure pile sera celle qui aura la plus grande énergie et la plus grande constance; ces deux qualités étant difficiles à réunir à un égal degré dans le même couple, on sacrifie tantôt l'une, tantôt l'autre, suivant la nature du travail à effectuer.

Un troisième facteur essentiel à considérer pour juger de la valeur d'un élément de pile, est son *prix de revient et d'entretien*. Celui-ci dépend de la nature des substances métalliques ou acides employées.

De nombreux inventeurs ont proposé et construit toutes sortes de piles réunissant tout ou partie des trois qualités que nous venons de mentionner. Nous n'examinerons ici, en les décrivant sommairement, que les types qui ont quelque importance en horlogerie électrique.

Pile de Volta. — Sous sa première forme de *pile à colonne*, elle consiste en une série de rondelles de cuivre alternant avec des rondelles de zinc, chaque paire de cuivre et de zinc étant séparée de la suivante par une rondelle de drap humectée d'eau acidulée. Elle a été plus tard modifiée en ce sens que chaque élément a été constitué par une plaque de cuivre et une plaque de zinc placées l'une à côté de l'autre dans un vase en verre, en terre ou en bois, contenant de l'eau acidulée.

La pile de Volta se polarise rapidement; elle est peu usitée aujourd'hui à cause de son inconstance et de la cherté du cuivre.

Pile à charbon. — Elle est semblable à la précédente, sauf que le cuivre est remplacé par du charbon de cornue. Très employée en Suisse pour la télégraphie; beaucoup moins inconstante que celle de Volta, grâce à la propriété qu'a le charbon d'absorber de grandes quantités d'oxygène, ce qui empêche jusqu'à un certain point le dépôt de l'hydrogène sur la plaque négative (fig. 2).

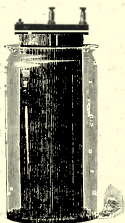


Fig. 2

La pile charbon-zinc avec liquide formé d'une dissolution aqueuse de sel de cuisine et de sel ammoniac, est une des meilleures à employer en horlogerie électrique, surtout dans les cas où les émissions de courant se font à intervalles réguliers, toutes les minutes ou toutes les demi-minutes. Sa manipulation est simple; son énergie est comparable à celle des éléments Leclanché; si l'on a des éléments à grandes dimensions, on peut les laisser longtemps abandonnés à eux-mêmes, sans que leur fonctionnement cesse d'être régulier. Avec une dissolution d'alun, la pile charbon-zinc rend de très bons services comme pile de sonnettes électriques.

Pile Leclanché. — Plaque ou bâton de zinc. charbon entouré de plaques dites agglomérées chargées d'empêcher la polarisation; ces plaques agglomérées sont formées de bioxyde de manganèse, de charbon, de gomme laque, etc., mis en poudre et comprimés à trois cents atmosphères (fig. 3). Le liquide est une solution concentrée de sel ammoniac. Très employée en France; constante à peu près au même degré que la pile charbon-zinc, peut être appliquée avec succès dans tous les cas où la pile charbon-zinc suffit.

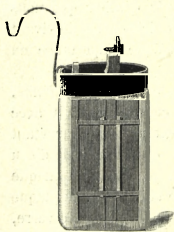


Fig. 3

Pile Daniel. — C'est une pile à deux liquides séparés l'un de l'autre par un vase poreux, et dans chacun desquels plonge l'une des lames: le zinc dans de l'eau

acidulée, le cuivre dans une solution saturée de sulfate de cuivre. Cette dernière est destinée à empêcher la polarisation (voir plus haut). On entretient la saturation en ajoutant de temps en temps des cristaux de sulfate de cuivre. C'est la plus constante de toutes les piles connues, et la seule applicable dans les cas où le courant doit circuler d'une manière continue avec la même force, ou à intervalles très rapprochés, toutes les secondes par exemple. Très employée en Allemagne, avec la modification qu'y a apportée le professeur Meidinger; celle-ci consiste à supprimer le vase poreux, à opérer la séparation des deux liquides par la simple différence de leur densité (la solution bleue de sulfate de cuivre reste au fond du vase), et à placer dans un ballon renversé sur le verre et dont le cou allongé plonge dans la solution bleue, une provision de cristaux de sulfate de cuivre chargée d'entretenir automatiquement la saturation (fig. 4).

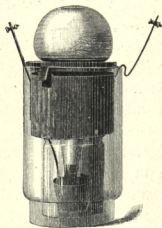


Fig. 4

En France, la pile Daniel rend de grands services sous la forme Callaud, qui n'est pas autre chose qu'une pile Meidinger sans ballon.

II

EFFETS DES COURANTS ÉLECTRIQUES

L'effet d'un courant se manifeste par une action exercée sur un corps que l'on *intercale* dans le fil réunissant les deux pôles de la pile. Nous avons déjà parlé de l'effet que produit sur la langue le passage du courant; cet effet est *physiologique*. Lorsque la pile avec laquelle on opère est composée d'un grand nombre d'éléments, on peut, en intercalant dans son circuit telle ou telle partie d'un corps humain ou animal, lui imprimer des commotions assez fortes.

Les effets *calorifiques* du courant sont remarquables aussi; ils consistent en une température élevée communiquée aux corps intercalés. Lorsqu'on a une pile puissante, on peut fondre et même volatiliser des métaux tels que le fer, l'argent, le platine, etc.

Les effets *lumineux* sont très connus sous la forme d'*arc voltaïque*; celui-ci s'obtient en faisant passer le courant dans deux crayons de charbon, dont les deux bouts sont à une petite distance l'un de l'autre; cet arc, d'un éclat éblouissant, peut atteindre une longueur de plusieurs millimètres; il se produit dans les lampes ou régulateurs électriques dont on fait maintenant un si grand usage pour l'éclairage des grands espaces. Les mêmes effets lumineux se retrouvent dans la lampe dite à *incandescence*, dans laquelle un mince filament en bambou carbonisé devient incandescent lorsqu'il est traversé par un courant électrique, produisant ainsi une lumière agréable et d'une grande fixité.

Les effets *chimiques* consistent dans la séparation et le transport des éléments des corps intercalés. L'eau, les oxydes métalliques, les acides et les sels, peuvent être ainsi *décomposés* par le courant. La plus belle application que l'on ait faite des propriétés décomposantes du courant est la *galvanoplastie*; celle-ci permet de recouvrir d'une couche d'un métal tel que l'or, le cuivre, le nickel, l'argent, etc., des objets de forme, de nature et de dimensions très diverses.

Électro-magnétisme. — Nous arrivons enfin aux effets *magnétiques* du courant, lesquels sont pour nous de la plus haute importance; ce sont eux qui interviennent dans tous les appareils électriques proprement dits, c'est-à-dire dans tous les appareils où des organes mécaniques sont mis en jeu à distance par l'électricité.

Action des courants sur les aimants. — Lorsqu'on place une aiguille aimantée, telle que celle d'une boussole, dans le voisinage d'un fil métallique *ac* (fig. 5) parcouru par le courant d'une pile *b*, cette aiguille est *déviée* de la direction sud-nord qu'elle doit au magnétisme terrestre, et elle tend à prendre une direction perpendiculaire à celle du fil *ac* qui l'influence. Le sens dans

lequel dévie le pôle sud de l'aiguille varie suivant le sens du courant, c'est-à-dire suivant que la même extrémité *d* du fil est mise en contact avec l'un ou avec l'autre pôle de la pile.

C'est sur ce phénomène qu'est basé le *galvanomètre* ou *boussole électrique*, instrument qui est employé pour constater la

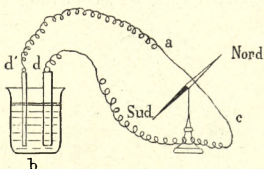


Fig. 5

présence des courants et mesurer leur intensité; en effet, plus cette intensité est grande, plus aussi est grand l'angle de déviation de l'aiguille aimantée.

Lorsque le fil influençant l'aiguille passe un grand nombre de fois autour d'elle (fig. 6), son action déviatrice devient très intense; les galvanomètres sont donc d'autant plus sensibles que le fil qui les compose est replié un plus grand nombre de fois sur lui-même.

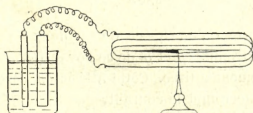


Fig. 6

Aimantation par les courants. — Lorsqu'on enroule un grand nombre de fois autour d'un barreau d'acier *a* (fig. 7) un fil de cuivre *b* dont les deux extrémités sont reliées à une pile *c*, le courant qui traverse ce fils *aimante* instantanément le barreau d'acier qui demeure magnétique même après que le courant a cessé de circuler (aimant permanent).

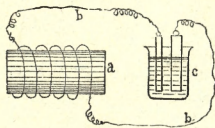


Fig. 7

Le même effet se produit lorsque le barreau, au lieu d'être en acier, est en fer doux; mais alors l'aimantation de ce dernier n'est que temporaire, et elle cesse avec le courant qui l'a provoquée.

Electro-aimant. — On nomme ainsi un barreau en fer doux *a* (fig. 8), recourbé en fer à cheval, sur chaque branche duquel

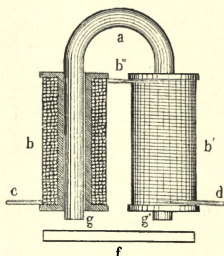


Fig. 8

on place une bobine de bois *bb'*; autour de cette dernière est enroulé un fil de cuivre faisant un grand nombre de tours. Ce fil est recouvert d'une enveloppe de soie ou de coton destinée à forcer le courant à le parcourir dans toute sa longueur. Il passe d'une bobine à l'autre en *b''*. Si l'on met les extrémités *c* et *d* de ce fil en contact avec les pôles d'une pile, il est parcouru par un courant qui aimante puissamment le noyau de fer *a*, en

sorte qu'une pièce de fer doux *f* (*armature*), placée devant les extrémités *g* et *g'* de ce noyau (pôles de l'électro-aimant) est fortement attirée. Cette attraction cesse au moment même où l'on interrompt le courant.

Lorsqu'on veut utiliser les mouvements de cette armature

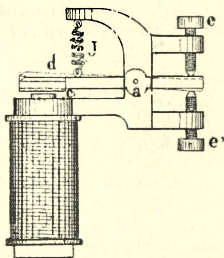


Fig. 9

pour réagir sur les organes mécaniques d'un appareil, on la suspend à un axe *a* (fig. 9) autour duquel elle peut tourner d'une certaine quantité; un ressort antagoniste *J* tend à l'éloigner du pôle *c* de l'électro-aimant, et la ramène en effet à une position *d* dès que, le courant cessant, l'attraction disparaît. Des vis d'arrêt *e*, *e'*, limitent la course de l'armature.

Un dispositif facile à concevoir et que, pour cette rai-

son, nous n'avons pas représenté dans la figure, permet de régler la tension du ressort antagoniste, et de la proportionner à la force attractive de l'électro-aimant.

Electro-aimants à armatures polarisées. — Chacun des pôles d'un électro-aimant, tel que celui des figures 8 & 9, attire une armature de fer doux placée dans son voisinage; mais si cette armature, au lieu d'être en fer doux, est un barreau d'acier aimanté, et que l'on présente la même extrémité de ce barreau successivement aux deux pôles de l'électro-aimant, on constate qu'il y a attraction de la part de l'un d'eux et répulsion de la part de l'autre.

Ce phénomène est une conséquence de la loi fondamentale des réactions magnétiques. Cette loi se formule ainsi :

Les pôles de même nom se repoussent; les pôles de nom contraire s'attirent.

Le noyau recourbé de l'électro-aimant devient, sous l'influence du courant qui parcourt ses bobines, un aimant ayant à l'une de ses extrémités un pôle sud et à l'autre un pôle nord; ce dernier, d'après ce qui vient d'être dit, repoussera le pôle nord du barreau aimanté employé comme armature et attirera son pôle sud.

On utilise cette propriété dans les électro-aimants à armatures polarisées.

Une pièce d'acier aimantée *ns* (fig. 10) est suspendue à un axe vertical *a*, de manière à pouvoir osciller entre les pôles *N* et *S* d'un électro-aimant *C*. Suivant

le sens du courant parcourant les bobines de *C*, le pôle *s* de l'armature est sollicité à se mouvoir soit dans la direction de la

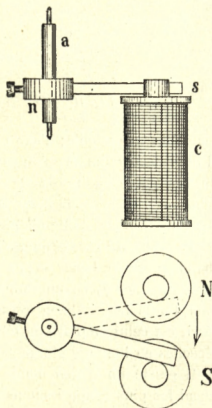


Fig. 10

flèche, soit dans la direction inverse. En retournant successivement le sens du courant, on transmet à l'armature polarisée *ns* un mouvement de va-et-vient susceptible d'être utilisé mécaniquement.

Interrupteurs. — Si l'on veut produire d'une manière commode les émissions et les interruptions alternatives du courant qui provoquent à distance les mouvements de l'armature, on se sert d'instruments appelés *interrupteurs*, ou aussi *manipulateurs*, ou encore *boutons électriques*.

Leur fonction consiste à réunir métalliquement ou à séparer

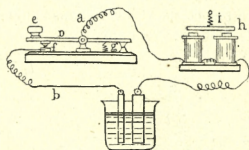


Fig. 11

les deux extrémités du fil *ab* qui amène le courant de la pile aux bobines de l'électro-aimant. Soit, par exemple, un levier métallique *o* (fig. 11) mobile autour d'un axe et pouvant, lorsqu'on presse sa poignée *e*, buter contre le plot métallique *f*.

Ce dernier est réuni à l'un

des pôles de la pile; l'axe est relié à l'un des bouts *a* du fil de l'électro-aimant; l'autre bout va à l'autre pôle de la pile. Un ressort *g* maintient le levier *o* séparé du plot *f* tant qu'on ne presse pas la poignée. Il est évident que toutes les fois que l'on pressera celle-ci, le courant sera établi, et par suite l'armature *h* attirée, et que, d'autre part, toutes les fois que l'on abandonnera le levier à l'action du ressort *g*, le courant sera interrompu en *f*, ce qui provoquera le retour de l'armature *h* sous l'influence de son ressort antagoniste *i*. L'interrupteur décrit est celui employé en télégraphie pour la transmission des dépêches en langage Morse.

Il existe un grand nombre d'autres formes d'interrupteurs; parmi les plus simples, citons les *boutons*, tels qu'on les emploie pour mettre en action les sonnettes électriques dans les appartements.

Renverseurs de courant. — Lorsque l'électro-aimant est à armature polarisée, les émissions successives du courant doivent

être alternativement de sens inverse; l'interrupteur est alors accompagné d'un appareil capable d'opérer ces renversements. Celui-ci consiste en principe en quatre boutons métalliques 1, 2, 3, 4 (fig. 12), isolés les uns des autres. Deux d'entre eux, 1 & 2, sont reliés aux pôles de la pile *a*; les deux autres, 3 & 4, aux bobines de l'électro-aimant *b* à armature polarisée. Deux lames métalliques représentées en pointillé sur la figure peuvent occuper, par rapport à ces boutons, deux positions différentes : ou bien elles réunissent 1 avec 3 et 2 avec 4; ou bien elles relient 1 avec 4 et 2 avec 3. Dans le premier cas, le courant partant du pôle positif de la pile passe de 1 à 3, parcourt les bobines *b* dans le sens de la flèche, et revient au pôle négatif de la pile en passant de 4 à 2. Dans le second cas, le courant partant du même pôle positif passe de 1 à 4, parcourt les bobines *b* dans le sens inverse de celui de la flèche, et revient au pôle négatif en passant de 3 à 2.

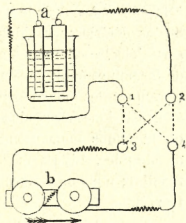


Fig. 12

Dans les différents systèmes d'horloges électriques, les changements de position de l'interrupteur, et éventuellement du renverseur, sont opérés aux moments voulus et automatiquement par l'*horloge-mère* chargée de distribuer le courant aux *cadrans secondaires*.

Extra-courants. — Au moment où un courant galvanique prend naissance dans un circuit dans lequel sont intercalés un ou plusieurs électro-aimants, il se produit dans ce circuit un courant *secondaire* qui a sa source dans les bobines des électro-aimants, et qui, étant de sens inverse au courant principal, tend à l'affaiblir.

Ce courant secondaire est développé par l'induction du courant principal agissant sur les spires du fil des bobines. Il est appelé extra-courant de *fermeture*.

Un phénomène analogue a lieu au moment où le courant

principal cesse de circuler ; le courant secondaire ainsi développé a nom extra-courant d'*ouverture*. Il est de même sens que le courant galvanique et tend à le renforcer.

Ces extra-courants, doués d'une grande force électro-motrice ou tension, font jaillir, des surfaces des interrupteurs destinés à fermer et à ouvrir le courant principal, des étincelles capables de les détériorer rapidement. En outre, dans le cas où l'on se sert d'électro-aimants à armatures polarisées, les extra-courants de fermeture étant de sens inverse au courant principal, peuvent provoquer des mouvements intempestifs de l'armature.

Il est donc nécessaire de prendre des précautions pour éviter, ou du moins pour atténuer, les mauvais effets que nous venons de signaler. Divers moyens ont été proposés pour arriver à ce résultat ; nous en rendrons compte dans la partie pratique de ce travail.

III

LOIS DES COURANTS ÉLECTRIQUES

Il y a dans toute installation électrique trois organes principaux :

- a) Le *générateur* du courant.
- b) Le *conducteur* du courant.
- c) Le *récepteur* du courant.

Le premier, comme son nom l'indique, *engendre* le courant ; c'est, dans la plupart des cas, la pile ; c'est, dans les installations d'éclairage électrique, la machine dynamo.

Le second sert de chemin, de canal au courant pour le *transporter* à distance. Il consiste presque exclusivement en fils métalliques (fer, cuivre, bronze, etc.), de plus ou moins grande longueur, reliant le générateur au récepteur.

Le troisième utilise la force du courant et la *transforme* de manière à produire un mouvement (électro-aimants), de la lumière (lampes électriques), de la chaleur (creusets électriques), une action chimique (bains galvanoplastiques), etc., en un mot,

toute espèce d'effet capable d'épargner à l'homme de la peine et du temps.

Circuits électriques. — Pour que le courant *circule* depuis le générateur par le conducteur au récepteur, il faut que ces trois organes lui offrent un circuit continu *fermé*, de telle sorte que si l'on suppose que le courant part de l'un des pôles du générateur, il puisse revenir à ce même pôle après avoir parcouru successivement tous les points du circuit. Ceci suppose :

1° Que, sur tous les points constituant ce circuit, le courant trouve voie libre.

2° Que, sur son parcours, il ne rencontre aucun corps susceptible de lui faire prendre un autre chemin que celui marqué par ce circuit.

Corps conducteurs et isolants. — On nomme *corps conducteurs* du courant ceux qui ont la propriété de le laisser passer au travers de leur masse.

On nomme *corps isolants* ceux qui s'opposent à ce passage. Tous les corps conducteurs ne le sont pas au même degré; tous les corps isolants ne le sont pas également. En réalité, il n'existe pas de corps absolument isolants : ceux que l'on appelle ainsi en pratique ne sont que des corps très mauvais conducteurs.

Le tableau suivant donne une idée de l'échelle de la conductibilité des corps, le plus conducteur se trouvant placé en tête :

Argent, cuivre, or, zinc, platine, fer, étain, plomb, mercure, charbon de bois, acides, dissolutions salines, eau de mer, air raréfié, glace fondante, eau pure, pierre, glace non fondante, bois sec, porcelaine, papier sec, laine, soie, verre, cire à cacheter, soufre, résine, gutta-percha, caoutchouc, gomme laque, paraffine, ébonite ou caoutchouc durci, air sec.

On voit que, d'une manière générale, les métaux conduisent très bien, les liquides moins bien, et les substances ligneuses, vitreuses, textiles et résineuses très peu le courant électrique. Ces dernières sont considérées comme isolantes.

D'après les deux conditions citées plus haut, il faudra constituer le circuit à parcourir par le courant de corps métalliques, ou tout au moins liquides, et les *supports* de ce circuit de substances isolantes.

C'est en effet ce que l'on fait : la pile se compose de liquides et de plaques métalliques contenues dans des vases en verre, en terre ou en bois ; le fil conducteur est métallique, et est supporté par des isolateurs en verre, en porcelaine ou en bois ; enfin, l'électro-aimant du récepteur est formé d'un long fil métallique isolé par de la soie ou du coton, et enroulé plusieurs fois sur une bobine de bois.

La *continuité* du circuit électrique et son *isolation* sont les deux premières conditions du bon fonctionnement des appareils.

La terre comme chemin de retour du courant. — Nous avons dit que le courant, partant de la pile pour arriver par le fil conducteur au récepteur, doit, après avoir quitté ce dernier, revenir à la pile, et nous avons admis que ce *retour* à la pile s'effectuait par un second fil métallique : il résulte de là que le récepteur est réuni au générateur par deux fils parallèles.

Or, une des plus belles découvertes en électricité faite en 1833 par Steinheil, a démontré que le second fil, celui de retour, pouvait

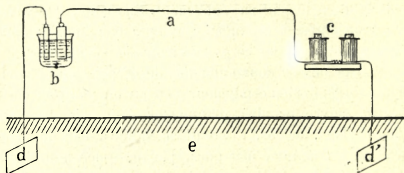


Fig. 13

être remplacé par la *terre*, et qu'il suffisait de tendre un seul fil isolé *a* (fig. 13) de l'un des pôles de la pile *b* à l'un des bouts du récepteur *c*, l'autre pôle de la pile et l'autre bout du fil du récepteur étant réunis chacun par un fil court (fil de terre) avec une plaque de cuivre *d*, *d'*, immergée dans le sol avoisinant.

Le retour du courant s'effectue alors au travers de la masse *e* comprise entre les deux plaques *d*, *d'*.

Si la distance séparant le générateur du récepteur est grande, on comprend qu'il y ait une grande économie réalisée de ce fait ;

de plus, la masse de terre *e* ayant une section très grande, sa résistance est de beaucoup plus faible que celle d'un fil métallique, et l'on gagne ainsi en intensité de courant (*voir plus loin*).

Dans les installations d'horloges électriques de ville, tous les fils sortant des récepteurs sont réunis à la terre au moyen des conduites de gaz ou d'eau.

Intensité des courants. — La première chose à considérer lorsqu'on veut étudier les lois d'un courant circulant dans un circuit fermé, c'est son *intensité*; de cette dernière dépend en effet la valeur de la réaction obtenue au récepteur.

Ohm, célèbre physicien allemand, en cherchant la loi de cette intensité, trouva qu'elle dépend de deux facteurs bien distincts : la *force électro-motrice* du générateur et la *résistance* du circuit.

La force électro-motrice d'un élément de pile dépend, ainsi que nous l'avons déjà dit, de la nature des réactions chimiques des substances composant l'élément.

Deux éléments de construction différente auront des forces électro-motrices différentes.

Deux éléments de même nature *accouplés* l'un à l'autre, de telle façon que le pôle négatif *a* (fig. 14) du premier soit réuni métalliquement au pôle positif *b* du second, auront, aux pôles généraux *c, c'*, une force électro-motrice deux fois plus grande que celle d'un seul élément.

En accouplant deux, trois, quatre, etc., éléments de la manière que nous venons d'expliquer, on

rendra la force électro-motrice deux, trois, quatre, etc., fois plus grande que celle d'un seul élément. En un mot, la force électro-motrice d'une pile, ou son énergie, est proportionnelle au nombre des éléments qui, placés les uns à la suite des autres (association en *tension*), composent cette pile.

La *résistance* d'un circuit est l'obstacle que les corps formant ce circuit opposent au passage du courant : cette résistance varie en sens inverse de la conductibilité de ces corps ; autrement dit, elle est d'autant plus grande que la conductibilité est plus faible.

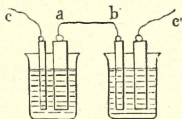


Fig. 14

Pour un même corps, elle est proportionnelle à sa longueur, et inversement proportionnelle à la surface que présente une section faite perpendiculairement à la direction de propagation du courant.

Ainsi, la résistance d'un fil de fer de 1000 mètres de longueur et de 1 millimètre carré de section, est double de la résistance d'un fil de fer de même section et de 500 mètres de longueur. La résistance d'un fil de fer de 1000 mètres de longueur et de $\frac{1}{2}$ millimètre carré de section, est double de celle d'un fil de fer de 1000 mètres de longueur et de 1 millimètre carré de section.

La résistance des liquides est plus grande, et celle des isolants beaucoup plus grande que celle des métaux. La partie du circuit formée par le liquide de la pile a donc une plus grande résistance que celle formée par le fil métallique conducteur du courant, en supposant toutefois que celui-ci ait une faible longueur. On distingue entre la résistance intérieure et la résistance extérieure du circuit; la première est précisément celle de la pile d'un pôle à l'autre en passant par les plaques et le liquide; la seconde est celle du conducteur et du récepteur.

Le tableau suivant donne les valeurs des résistances de différents métaux comparées à celle de l'argent :

Argent écroui.	100
Cuivre.	98
Or.	126
Fer	595
Argent allemand (alliage de cuivre, zinc et nickel).	1281
Mercure.	6038

Quant à la résistance des liquides, également comparée à celle de l'argent que nous représenterons par 1, les chiffres suivants, qui concernent les dissolutions le plus en usage dans les piles, en donnent une idée :

Acide sulfurique	69670
Dissolution concentrée de sulfate de zinc . . .	17330000
Id. id. cuivre . .	18450000
Acide nitrique du commerce.	16060000

Loi d'Ohm. — Nous avons dit que, d'après Ohm, l'intensité du courant circulant dans un circuit dépend de la force électro-motrice de la pile et de la résistance du circuit. En appelant I l'intensité

en question, E la force électro-motrice, et R la résistance, on aura pour symbole de la loi d'Ohm la formule :

$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

ce qui signifie : *L'intensité d'un courant est proportionnelle à la force électro-motrice de la pile et inversement proportionnelle à la résistance du circuit.*

Cette loi est fondamentale ; elle est la base de toute l'électro-technique.

Afin de la rendre compréhensible, même aux personnes peu familiarisées avec les formules algébriques, faisons-en quelques applications numériques.

Exemple I. Supposons que la pile soit composée de 10 éléments associés en tension ; d'après ce que nous savons, la force électro-motrice E de cette pile sera représentée par 10.

Supposons que le fil reliant la pile à l'électro-aimant du récepteur soit en cuivre, et qu'il ait une longueur totale de 1000 mètres, et une section de 1 millimètre carré ; sa résistance pourra être représentée par 1000.

Admettons que la longueur du fil de l'électro-aimant récepteur soit de 500 mètres, qu'il soit également en cuivre, et que sa section soit aussi de 1 millimètre carré ; sa résistance sera 500.

Supposons enfin que la résistance intérieure d'un seul élément de la pile soit équivalente à 100 mètres du fil de cuivre de 1 millimètre de section (nous verrons plus tard comment on peut comparer entre elles les résistances de corps différents en les rapportant à une unité convenue.) Calculons d'abord R , c'est-à-dire la somme des résistances du circuit ; elle se compose :

- | | |
|--|-----------------|
| 1° De la résistance du conducteur. | 1000 |
| 2° Id. récepteur | 500 |
| 3° De 10 fois la résistance d'un élément de pile | 100×10 |

L'intensité du courant cherchée sera donc :

$$I = \frac{10}{1000 + 500 + (100 \times 10)} = \frac{10}{2500} = \frac{1}{250} = 0,004.$$

Ce nombre 0,004 ne représente en lui-même rien à l'esprit, mais il devient utile comme terme de comparaison.

Exemple II. Supposons en effet qu'au lieu d'avoir 10 éléments à la pile, on en ait 100, toutes les autres données restant d'ailleurs les mêmes. On aura alors :

$$I = \frac{100}{1000 + 500 + (100 \times 100)} = \frac{100}{11500} = \frac{1}{115} = 0,00869.$$

L'intensité du courant dans l'exemple II est environ deux fois plus grande que dans l'exemple I; ce qui veut dire que le récepteur et le conducteur restant les mêmes, on obtiendra avec une pile de 100 éléments environ deux fois plus de force à l'armature de ce récepteur qu'avec une pile de 10 éléments; autrement dit, le poids maximum que cette armature est capable de soulever, sera, dans le second cas, deux fois plus grand que dans le premier.

Exemple III. Supposons maintenant la pile composée de 10 éléments comme dans le premier exemple, mais faisons la résistance intérieure de chaque élément de 10 seulement (au lieu de 100); laissons d'ailleurs la résistance du conducteur égale à 1000 et celle du récepteur à 500. On aura :

$$I = \frac{10}{1000 + 500 + (10 \times 10)} = \frac{10}{1600} = \frac{1}{160} = 0,006.$$

On obtient une nouvelle intensité de grandeur intermédiaire entre celles des deux premiers exemples.

Exemple IV. Soit une pile de 10 éléments, dont chacun a une résistance intérieure de 100; soit la résistance du récepteur égale à 5000 et celle du conducteur à 1000. On aura :

$$I = \frac{10}{1000 + 5000 + (100 \times 10)} = \frac{10}{7000} = \frac{1}{700} = 0,00143.$$

L'intensité du courant est quatre fois plus petite environ que dans l'exemple III.

Nous pourrions multiplier ces exemples à l'infini; ceux que nous venons de donner suffisent pour faire voir l'influence des variations des diverses résistances du circuit et du nombre des

éléments sur l'intensité du courant, et, par conséquent, sur l'effet obtenu au récepteur. On comprend facilement que le choix de ces facteurs n'est pas chose indifférente, et que, pour obtenir avec le moins de dépense le maximum d'effet, il faut donner à chacun d'eux, autant que possible, les meilleures proportions. Ces proportions se déduisent aisément de la formule d'Ohm.

Loi des courants dérivés ou bifurqués. — Nous avons supposé jusqu'ici que le circuit parcouru par le courant était simple, c'est-à-dire non bifurqué. Supposons maintenant qu'en deux points quelconques *a* et *c* (fig. 15) du conducteur principal *daecd'*, se trouve branché un second conducteur *abc* muni, lui aussi, de son récepteur *b*.

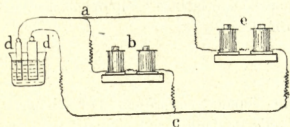


Fig. 15

L'intensité du courant parcourant cet ensemble et dépensé par la pile n'est pas la même que celle du courant qui parcourrait le circuit unique *daecd'*. En effet, la résistance de cet ensemble est autre que celle de *daecd'*. Si nous connaissons cette résistance complexe, nous pourrions l'introduire dans le calcul fournissant d'après Ohm l'intensité générale.

Supposons que le fil *abc*, y compris le fil du récepteur *b*, soit de longueur et de section égales au fil *aec* avec son récepteur *e*. Supposons que ces deux fils courent parallèlement l'un à l'autre, et considérons l'ensemble de leur résistance. Celle-ci sera évidemment la même que celle d'un seul fil de même longueur, mais de section double de celle de chacun d'eux; autrement dit, la résistance des deux fils réunis sera deux fois moins grande que celle de l'un d'entre eux. Si donc on appelle *a* la résistance de l'un d'eux, on aura comme résistance des deux fils réunis :

$$R = \frac{a}{2}$$

Le même raisonnement s'applique aux cas où l'on aurait

3, 4, x bifurcations de même résistance; la résistance totale de ces bifurcations serait représentée par

$$\frac{a}{3}, \frac{a}{4}, \dots, \frac{a}{x}$$

et ce sont ces valeurs qu'il faudrait introduire dans la formule d'Ohm pour connaître les intensités correspondantes.

Lorsque deux bifurcations sont de longueur et de sections inégales, ou plutôt lorsqu'elles ont des résistances inégales, on trouve la résistance complexe de leur ensemble au moyen de la formule

$$R = \frac{a b}{a + b} \quad (2)$$

dans laquelle a représente la résistance d'une des bifurcations et b celle de l'autre. En effet, si, dans cette formule (2), on fait $a = b$, on obtient :

$$R = \frac{a^2}{2a} = \frac{a}{2}$$

et l'on retombe dans le cas ci-dessus examiné de deux bifurcations d'égale résistance.

Exemple. Soient 600 la résistance de la première bifurcation a , et 950 celle de la seconde b ; la résistance de l'ensemble sera :

$$R = \frac{ab}{a + b} = \frac{600 \times 950}{600 + 950} = \frac{570000}{1550} = 368.$$

Si $a = b = 600$, on a :

$$R = \frac{600 \times 600}{600 + 600} = \frac{360000}{1200} = 300 = \frac{a}{2}$$

Ces formules des courants dérivés sont celles qu'on emploie pour calculer les résistances accessoires qu'il faut ajouter aux bobines des récepteurs des horloges électriques distribuées dans les rues d'une ville, et qui sont destinées à équilibrer le système, c'est-à-dire à donner à chaque bifurcation une résistance telle, que tous les cadrans reçoivent la même quantité de courant.

Différents groupements des éléments de pile. — Ces mêmes for-

mules doivent également être appliquées dans les cas où l'on veut faire varier la résistance intérieure des piles sans modifier la forme des éléments employés. Supposons en effet quatre éléments *ab* (fig. 16) réunis en tension et fournissant le courant du circuit extérieur *abc*. Si, de *e* à *f*, j'intercale une nouvelle série de quatre éléments semblables réunis en tension, la résistance intérieure de l'ensemble de ces éléments ainsi groupés est fournie par la formule connue :

$$R = \frac{r}{2}$$

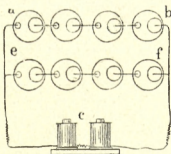


Fig. 16

où *r* est la résistance intérieure d'une seule série.

Avec trois séries, on aurait : $R = \frac{r}{3}$, et ainsi de suite.

Cela donne un moyen de diminuer la résistance d'une pile, et par conséquent d'augmenter l'intensité d'un courant sans modifier le circuit extérieur.

Dans le cas de deux séries parallèles de quatre éléments chacune, la force électro-motrice totale reste naturellement égale à quatre, car cette force électro-motrice dépend uniquement, comme nous le savons, du nombre d'éléments qui sont en tension, et ici il n'y a que quatre éléments en tension. Le groupement en *séries* ou, comme on dit aussi, en *quantité*, modifie seulement la résistance intérieure de la pile, et non pas sa force électro-motrice.

Un nombre d'éléments étant donné, on peut grouper ceux-ci de diverses manières. Supposons, par exemple, que ce nombre soit 8. On pourra faire :

1° Une seule série de huit éléments en tension, et alors on aura une force électro-motrice de 8 et (en admettant que la



Fig. 17

résistance intérieure de chaque élément soit 100) une résistance intérieure de $100 \times 8 = 800$ (fig. 17).

2° Deux séries parallèles de quatre éléments en tension (fig. 18), ce qui correspond à

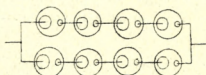


Fig. 18

une force électro-motrice de 4, et à une résistance intérieure de $\frac{100 \times 4}{2} = 200$.

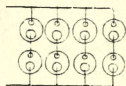


Fig. 19

3° Quatre séries parallèles de deux éléments en tension (fig. 19), et alors on a une force électro-motrice de 2, et une résistance intérieure de $\frac{100 \times 2}{4} = 50$.

4° Huit séries parallèles d'un élément (fig. 20), et alors on a comme force électro-motrice 1, et comme résistance intérieure $\frac{100 \times 1}{8} = 12,5$.

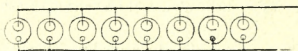


Fig. 20

Tous ces groupements peuvent être utilement appliqués; leur adoption dépend de la résistance du circuit extérieur. Dans chaque cas, on s'efforce d'obtenir l'effet maximum et, ainsi que nous l'avons déjà dit, c'est la formule d'Ohm qui nous renseigne à cet égard.

Loi des électro-aimants. — Les dimensions relatives des différentes parties constituant un électro-aimant ne sont pas indifférentes: non seulement elles dépendent les unes des autres, mais encore elles doivent être dans un rapport déterminé avec l'intensité du courant et avec la résistance totale du circuit dans lequel ce courant circule.

Les lois des électro-aimants, établies par Lentz, Jacobi, Müller et Dub, peuvent être résumées de la manière suivante:

La force attractive des électro-aimants sur une armature est proportionnelle :

- 1° A l'intensité du courant.
- 2° Au nombre de tours du fil qui entoure les bobines.
- 3° Aux diamètres des noyaux magnétiques.
- 4° Aux racines carrées des longueurs de ces noyaux.

Cette force atteint son maximum lorsque la résistance du fil entourant les bobines est égale à la résistance du reste du circuit.

On voit d'après cela que plus on augmente les dimensions d'un électro-aimant, plus aussi sa force attractive s'accroît. Dans les appareils de télégraphie et d'horlogerie électrique, la valeur de ces dimensions est naturellement limitée par la grandeur de l'effet mécanique que l'on veut obtenir.

IV

MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES

Dans les exemples numériques que nous avons donnés au chapitre précédent, les chiffres employés n'ont qu'une *valeur comparative*. Pour qu'ils présentent à l'esprit une signification moins abstraite, il faut pouvoir les réduire en *unités* connues ; ou bien, ce qui revient au même, il faut pouvoir *mesurer* les intensités, les forces électro-motrices et les résistances, en les rapportant à une intensité, à une force électro-motrice, à une résistance déterminée prise comme unité.

Pour effectuer une opération de mesure quelconque, il faut satisfaire à trois conditions :

1° Disposer pour chaque facteur à mesurer d'une unité pratique et généralement adoptée.

2° Connaître les relations qui lient entre elles les unités de ces différents facteurs.

3° Disposer d'instruments de mesure.

Unités électriques. — Le choix d'unités électriques définitives et pratiques a fait l'objet des discussions du congrès réuni à Paris en 1881 à l'occasion de l'Exposition internationale d'électricité. Cette assemblée a non seulement déterminé les relations unissant les unités à adopter, mais elle a choisi ces unités elles-mêmes de telle façon que leurs relations fussent dans un rapport aussi simple que possible. Elle a même fait mieux que cela : plaçant à la base de ses travaux le grand principe de l'unité des forces naturelles, d'après lequel tous les phénomènes de pesan-

teur, de mouvement, de chaleur, de lumière, d'électricité, sont les effets multiples d'une seule et même cause primordiale, elle a voulu que les unités électriques qu'elle était chargée d'établir fussent *dérivées* des trois unités fondamentales d'espace, de temps et de masse, qui servent à mesurer les effets de toutes les forces naturelles.

Elle est ainsi arrivée à constituer ce qu'on appelle *le système absolu des mesures électriques*, et, pour cela, elle s'est inspirée des travaux antérieurs de Weber et des physiciens composant l'*Association britannique*. Il n'y a pas lieu de reproduire ici les considérations qui ont guidé les savants du congrès de Paris; cela dépasserait le cadre de cette modeste étude. L'important pour nous est de connaître les résultats de leurs travaux, c'est-à-dire les noms et les définitions des unités établies par eux.

L'unité de force électro-motrice est le *volt* (de Volta, inventeur de la pile). Elle est à peu près égale à la force électro-motrice d'un couple de Daniel.

L'unité de résistance est l'*ohm* (du nom du physicien qui a établi la relation liant entre elles les quantités électriques). Elle est égale à la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 1060 millimètres de longueur (à la température de la glace fondante).

L'unité d'intensité est l'*ampère* (du nom d'un célèbre physicien français). C'est l'intensité d'un courant engendré par un couple de la force d'un volt, et circulant dans un circuit dont la résistance est égale à un ohm (*).

Parmi les unités de résistance qui étaient en usage avant les décisions du congrès de Paris, il est bon de signaler ici l'*unité*

(*) Parmi les autres unités adoptées par le congrès de Paris, citons encore les suivantes :

L'unité de *quantité*, appelée *coulomb*, dans laquelle on fait intervenir la notion du temps : c'est la quantité d'électricité qui traverse un circuit pendant une seconde, lorsque l'intensité du courant est égale à un ampère.

L'unité de *capacité*, ou *farad*, qui est la capacité d'un condensateur chargé au potentiel d'un volt et renfermant un coulomb.

L'unité de *puissance* ou *watt*, qui est le produit du volt par l'ampère.

1 kilogrammètre par seconde = 9.81 watts.

.1 cheval-vapeur = 736 watts.

siemens, qui est encore quelquefois employée en Allemagne, et qui est égale à la résistance d'une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section et de 1 mètre de longueur; elle est donc peu différente de l'ohm.

Instruments de mesure. — L'instrument de mesure électrique par excellence est le *galvanomètre*; c'est une véritable balance dans laquelle on pèse les courants. Nous avons déjà fait connaître au chapitre II le principe sur lequel il repose. D'une manière générale, il consiste en une aiguille aimantée mobile sur un pivot ou sur un axe horizontal, et placée au centre d'un cadre sur lequel est enroulée une certaine longueur de fil de cuivre à spires isolées les unes des autres par de la soie. Les deux extrémités de ce fil aboutissent à deux bornes métalliques que l'on peut réunir aux pôles du générateur du courant à mesurer, ou aux deux bouts du fil ou circuit dans lequel on veut intercaler le galvanomètre. Au-dessous de l'une des extrémités de l'aiguille est placée une échelle circulaire graduée, dont le centre coïncide avec l'axe de l'aiguille. Le tout est monté sur un pied, de telle façon qu'il soit facile d'*orienter* l'aiguille, opération qui doit précéder chaque mesure, et qui consiste à tourner l'instrument sur lui-même jusqu'à ce que l'extrémité de l'aiguille soit au 0 de l'échelle.

Deux courants d'intensité différente donnent sur le galvanomètre des angles de déviation différents; mais un courant d'intensité 2 ne fournira pas une déviation double de celle du courant d'intensité 1.

Autrement dit, les angles de déviation ne sont pas proportionnels aux intensités.

Il résulte de là que, pour pouvoir se servir d'un galvanomètre comme d'instrument de mesure des courants, il faut connaître la loi qui lie les déviations aux intensités. Cette loi varie elle-même avec la construction du galvanomètre.

Nous ne pouvons entrer à ce sujet dans de longs développements; nous nous contenterons de constater ici que, dans la plupart des applications de l'électricité à la télégraphie et à l'horlogerie, on se sert de *boussoles électriques* dont l'échelle est simplement divisée en degrés d'arc. Les praticiens appelés à se

servir de ces instruments en ont une telle habitude, ils connaissent si bien les déviations qui correspondent à telle ou telle intensité de courant nécessaire au bon fonctionnement des appareils qu'ils surveillent ou qu'ils installent, que la simple lecture en degrés de l'échelle leur fournit des indications aussi utiles que celles que leur donnerait un galvanomètre gradué en unités d'intensité.

Parmi les boussoles électriques les plus usitées, la boussole télégraphique suisse mérite ici une mention spéciale. La figure 21

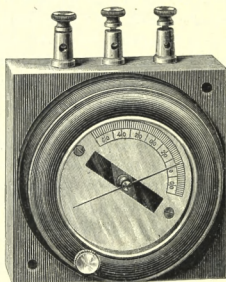


Fig. 21

en donne une idée. L'aiguille aimantée et le cadre à fil de cuivre se trouvent sous la plaque portant l'échelle graduée; l'axe de l'aiguille prolongé porte un index, dont l'extrémité peut parcourir les divisions de l'échelle.

Pour faciliter l'orientation, la partie circulaire, qui est en bois, et avec elle l'échelle, peuvent tourner facilement dans le socle carré, également en bois.

Ce dernier porte les bornes par lesquelles on introduit dans le fil galvanométrique les courants à mesurer. Ce fil fait *trente-deux tours* autour de l'aiguille aimantée, ce qui correspond à une sensibilité suffisante pour opérer avec des courants tels que ceux qui circulent à travers l'électro-aimant d'un ou plusieurs récepteurs.

Le tableau suivant donne en milli-ampères ou millièmes d'ampère les valeurs correspondant aux différentes déviations de la boussole télégraphique suisse à trente-deux tours :

Degrés de la boussole à 32 tours	Milli- ampères	Degrés de la boussole à 32 tours	Milli- ampères
0°	0.0	36°	12.4
2°	0.7	38°	13.7
4°	1.5	40°	15.0
6°	2.2	42°	17.6
8°	3.0	44°	20.2
10°	3.7	46°	22.8
12°	4.1	48°	25.4
14°	4.4	50°	28.0
16°	4.8	52°	32.8
18°	5.1	54°	37.6
20°	5.5	56°	42.4
22°	6.1	58°	47.2
24°	6.7	60°	52.0
26°	7.3	62°	61.4
28°	7.9	64°	70.8
30°	8.5	66°	80.2
32°	9.8	68°	89.6
34°	11.1	70°	99.0

Lorsqu'on veut mesurer directement l'intensité du courant fourni par un ou plusieurs éléments de pile, dans le but de s'assurer si ceux-ci sont en bon état, on emploie une boussole de même forme, mais dont le fil ne fait qu'un *seul tour* sur le cadre. Une boussole à trente-deux tours serait trop sensible pour de tels courants.

Souvent on réunit les deux boussoles en une seule; celle-ci est dite à *un et trente-deux tours*; elle a alors trois bornes, dont une commune aux deux fils (fig. 21).

Un autre type de galvanomètre très usité dans la pratique, est le *galvanomètre différentiel*. Cet instrument est semblable comme principe et comme aspect à la boussole télégraphique suisse; toutefois, au lieu de n'avoir qu'un seul fil faisant trente-deux tours autour de l'aiguille aimantée, il en possède deux indépendants électriquement l'un de l'autre et enroulés de manière à produire sur l'aiguille aimantée des effets inverses. Ces deux fils étant parfaitement égaux comme longueur, section, nombre de tours et position par rapport à l'aiguille aimantée, deux courants égaux qui y circuleront auront pour effet de laisser

l'aiguille au 0. Nous verrons plus loin que le galvanomètre différentiel rend de grands services dans la mesure des résistances électriques.

Lorsqu'on a à mesurer des courants de très faible intensité, tels, par exemple, que ceux qu'on lance dans une longue ligne aérienne ou souterraine pour en déterminer le degré d'isolation, on emploie des galvanomètres analogues à celui de la figure 21, mais chez lesquels le fil influençant l'aiguille aimantée fait un très grand nombre de tours autour de cette dernière (mille tours et plus). On a alors ce qu'on appelle des galvanomètres à grande sensibilité.

Il existe un grand nombre de types de galvanomètres, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer.

Mesure des résistances. — Elle se fait au moyen de boîtes de résistances étalonnées ou *rhéostats* que l'on construit dans les

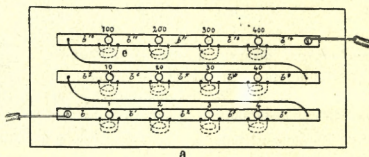


Fig. 22

principales fabriques d'appareils électriques et dont les figures 22 & 23 donnent la disposition schématique. Sur une plaque d'ébonite *a*

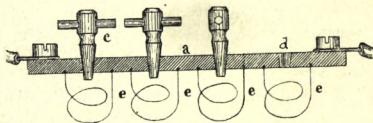


Fig. 23

sont fixées un certain nombre de lamelles de laiton $bb^1b^2\dots b^n$ dont la première *b* et la dernière b^n portent les deux serre-fils par

lesquels on peut introduire le courant d'une source quelconque d'électricité. Ces lamelles sont isolées les unes des autres, mais peuvent être reliées deux à deux par des fiches métalliques *c* qu'on enfonce dans les trous *d* ménagés pour cela. De part et d'autre de chaque trou *d* sont soudées au-dessous des lamelles adjacentes, les extrémités d'un fil de résistance connue *e*. Il y a donc autant de ces fils ou bobines *e* qu'il y a de trous à fiche.

Lorsque toutes les fiches *c* sont dans leurs trous *d*, le courant, entrant par le serre-fil de la lamelle *b*, parcourt successivement toutes les lamelles et toutes les fiches pour sortir par le serre-fil de la lamelle *b'* ; le parcours se fait sans résistance appréciable. Mais si l'on enlève une ou plusieurs des fiches *c*, on introduit par le fait même, dans le circuit, les résistances des bobines *e* correspondantes. La résistance de chaque bobine *e* est marquée sur la plaque *a* en regard du trou auquel elle correspond. En disposant les fils comme l'indique la figure 22, c'est-à-dire en adoptant les résistances 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30, 40, 100, 200, 300, 400 ohms, on peut introduire dans le circuit du rhéostat n'importe quelle résistance comprise entre 1 et 1110 ohms. Si l'on ajoutait quatre nouvelles bobines de 1000, 2000, 3000 et 4000 ohms, on pourrait mesurer, à un ohm près, n'importe quelle résistance comprise entre 1 et 11110 ohms, et ainsi de suite. Les dixièmes d'ohm pourraient également se mesurer au moyen de quatre bobines de 0.1 — 0.2 — 0.3 et 0.4 ohm. Une boîte de résistance permettant de mesurer toutes les résistances comprises entre un dixième d'ohm et 1,111,110 ohms ne comprendrait que $4 \times 7 = 28$ bobines étalonnées.

Au lieu d'employer pour la mesure des fractions de l'ohm quatre bobines donnant les dixièmes d'ohm, on peut adapter au rhéostat un double fil de maillechort *aa'* (fig. 24) dont la résistance totale soit égale à l'unité, et qui puisse être intercalé

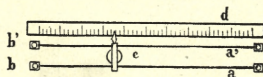


Fig. 24

dans le circuit d'expérience par ses deux extrémités *bb'*. Un curseur métallique *c* pouvant se déplacer le long du double fil, et faisant contact avec

ses deux branches, permet d'introduire une résistance fractionnaire dont la valeur est donnée par la longueur $bc'b'$ de fil intercalé; l'échelle graduée d indique en dixièmes ou même en centièmes d'ohm cette valeur.

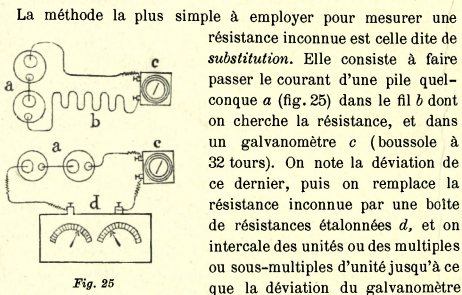


Fig. 25

La méthode de substitution a l'inconvénient de donner des résultats peu exacts, lorsque, dans l'intervalle des deux opérations, le courant fourni par la pile

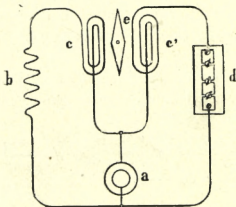


Fig. 26

varie d'intensité. Pour éviter cette source d'erreur, qui est d'autant plus grande que la pile employée est moins constante et la résistance à mesurer plus faible, on emploiera avec avantage le galvanomètre différentiel décrit ci-dessus; après avoir relié la pile a , la résistance à mesurer b , le rhéostat d et les deux fils c et c' du galvanomètre différentiel, comme l'indique la

figure 26, on réglera le rhéostat jusqu'à ce que les deux portions de courant circulant dans les fils c et c' se fassent équilibre, ou autrement dit n'aient plus aucune action sur l'aiguille e qui restera au o ; à ce moment la résistance du rhéostat est égale à b .

Une troisième méthode à appliquer pour mesurer les résistances inconnues est celle du *pont de Wheatstone*, qui a sur celle du galvanomètre différentiel l'avantage de permettre l'emploi d'une boussole à simple fil donnant des résultats plus exacts. En effet, l'expérimentateur qui fait usage d'une boussole différentielle n'a pas toujours la certitude absolue que les deux fils influencent l'aiguille aimantée exactement de la même manière, ni qu'ils aient la même résistance; de là une certaine incertitude au sujet de l'exactitude des résultats obtenus. Avec la méthode du pont de Wheatstone, les deux courants équilibrant leur action sur l'aiguille aimantée, circulent dans un seul et même fil.

La figure 27 donne le diagramme des communications du pont

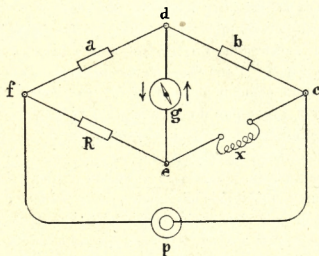


Fig. 27

de Wheatstone. Le courant positif de la pile p arrivé en f , se partage en deux parties: l'une prend le chemin $fadexc$, l'autre le chemin $Redbc$. Ces deux portions de courant circulent donc en sens inverse dans le galvanomètre g ; si elles sont d'intensité égale, elles se feront équilibre et l'aiguille de g restera au o . Or si l'on place dans la branche x la résistance inconnue à mesurer, et en R

la boîte de résistance étalonnée, il est évident que l'équilibre cherché existera si $R = x$, puisque chacune de ces résistances est parcourue par l'une des portions du courant passant par g .

Dans les deux autres branches du pont, on intercale d'habitude deux résistances nouvelles a et b qui, suivant leur rapport, permettent de mesurer des résistances x ayant une valeur supérieure ou inférieure aux limites extrêmes de la boîte de résistances R . En effet, il existe entre les résistances des quatre branches du pont la proportion

$$\frac{a}{R} = \frac{b}{x} \text{ d'où } ax = bR$$

$$\text{d'où encore } x = \frac{bR}{a} = \frac{b}{a} R$$

si, par exemple, on fait a , 10 ou 100 fois plus grand ou plus petit que b , l'équilibre du galvanomètre se produira lorsqu'on aura fait R 10 ou 100 fois plus petit ou plus grand que x .

Mesure de la résistance intérieure des piles. — Les méthodes ci-dessus ne sont applicables telles quelles que lorsque la résistance à mesurer est *inerte*, c'est-à-dire lorsqu'elle n'est pas elle-même le siège d'une force électro-motrice. Or la résistance intérieure d'un élément de pile n'est pas inerte, et pourtant il est souvent nécessaire de la connaître exactement, puisqu'elle constitue elle-même une portion essentielle du circuit dont il s'agit de déterminer la résistance totale.

Dans ce cas, la manière la plus facile d'opérer, lorsqu'on dispose d'un nombre pair d'éléments en expérience, consiste à en former deux séries égales en tension; on monte ces deux séries en opposition; leurs forces électro-motrices s'annulent, et on peut alors mesurer leur résistance totale soit par la méthode de substitution, soit par celle du galvanomètre différentiel.

Un autre procédé pour mesurer la résistance intérieure d'un élément de pile est le suivant :

Dans une première expérience, on détermine la déviation m^o que produit sur un galvanomètre quelconque g (fig. 28) le courant fourni par l'élément en expérience b et circulant à travers une résistance quelconque du rhéostat R . Dans une seconde expé-

rience, on intercale en déviation sur la boussole une résistance g' (fig. 29) exactement égale à celle de g , et l'on réduit à la

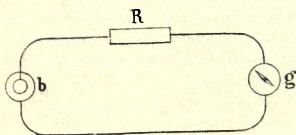


Fig. 28.

moitié de sa valeur primitive la résistance R . On a ainsi diminué de moitié la résistance extérieure du circuit (les fils de liaison étant supposés assez peu résistants pour pouvoir être négligés),

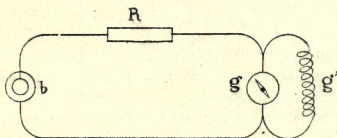


Fig. 29

et l'on a, en appelant R la résistance du rhéostat, B celle du galvanomètre, W la résistance de l'élément, E sa force électromotrice, I et I_1 les intensités du courant :

Dans la première expérience

$$(1) \quad I = \frac{E}{W + R + B}$$

Dans la seconde

$$(2) \quad I_1 = \frac{E}{W + \frac{R + B}{2}}$$

Or la moitié seulement du courant I_1 passe par le galvanomètre g ; on aura donc aussi :

$$(3) \quad \frac{I_1}{2} = \frac{E}{2W + R + B}$$

Ce courant $\frac{I_1}{2}$ produit sur la boussole une certaine déviation n° plus petite que m° , et que l'on note.

Dans une troisième expérience, on éloigne de nouveau la résistance g' , et on modifie R jusqu'à ce que l'on retrouve au galvanomètre la déviation n° de la seconde expérience. A ce moment on a :

$$(4) \quad \frac{I_1}{2} = \frac{E}{W + R_1 + B}$$

En combinant les équations (3) et (4), on obtient :

$$\frac{E}{2W + R + B} = \frac{E}{W + R_1 + B}$$

$$\text{d'où } 2W + R + B = W + R_1 + B$$

$$\text{d'où encore } R_1 - R = W$$

ce qui signifie que la résistance intérieure cherchée est égale à la différence des résistances qu'avait le rhéostat dans la seconde et la troisième expérience.

Mesure de la force électro-motrice des éléments de pile. — Le procédé le plus simple consiste à comparer les éléments inconnus avec des éléments Daniel, lesquels, comme nous savons, représentent à peu près des volts. La difficulté de l'opération consiste à se rendre indépendant des différences de résistances intérieures des éléments que l'on compare. Pour cela, on fait en sorte que

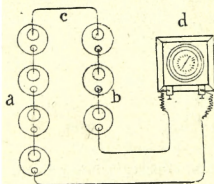


Fig. 30

les éléments inconnus et les connus travaillent sur le même circuit; ceci s'obtient en *opposant* les unes aux autres les deux espèces d'éléments. Soient par exemple b les éléments inconnus (fig. 30) et a les connus; on réunit par un fil direct c les pôles positifs des deux piles; puis on intercale la boussole d dans le fil reliant les deux pôles négatifs;

enfin on ajoute, soit à l'une soit à l'autre des deux piles,

des éléments jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre que l'on a préalablement orientée reste au 0. A ce moment, les courants des deux piles en opposition se font équilibre, et comme tous les deux parcourent le même circuit, les forces électro-motrices correspondantes sont égales. Si, par exemple, il faut trois éléments inconnus b pour faire équilibre à quatre éléments Daniel a , on saura que chaque élément inconnu a une force électro-motrice de $\frac{a}{b} = \frac{4}{3} = 1,33$ volt.

Une autre manière de déterminer la force électro-motrice d'un élément de pile est la suivante :

On place dans un même circuit un élément de force électro-motrice connue, un galvanomètre sensible et une résistance connue de beaucoup supérieure à la résistance intérieure de l'élément en expérience; on note la déviation du galvanomètre, puis on remplace l'élément connu par l'élément inconnu, et l'on règle la résistance du rhéostat de manière à reproduire la déviation notée. Les forces électro-motrices des deux éléments sont alors dans le même rapport que les résistances, et on a :

$$\frac{E}{E_1} = \frac{R}{R_1}$$

Dans cette équation ne figurent pas les résistances des éléments et du galvanomètre qui sont considérées comme négligeables par rapport à celles du rhéostat.

On peut aussi déduire très exactement la force électro-motrice d'un élément dont on a déterminé préalablement la résistance intérieure, en le mettant en circuit avec un rhéostat et un galvanomètre de résistance connue, dont les indications puissent être facilement réduites en unités d'intensité (ampères); la force électro-motrice cherchée est égale à l'intensité constatée à la boussole multipliée par la résistance totale du circuit (*voir loi d'Ohm*).

Mesure des intensités. — Connaissant en ohms la résistance du circuit, et en volts la force électro-motrice du courant qui le parcourt, on en déduit par la loi d'Ohm l'intensité de ce courant en ampères.

Si, par exemple, on a une force électro-motrice de douze volts et une résistance de circuit de deux cents ohms, on aura une intensité de courant de $\frac{12}{200} = 0.06$ ampère ou six centièmes d'ampère.

On peut aussi mesurer directement l'intensité d'un courant, en intercalant dans son circuit un galvanomètre gradué en ampères, ou dont les déviations puissent être facilement réduites en ampères (boussole télégraphique suisse à trente-deux tours). La résistance du galvanomètre doit alors être assez faible relativement à celle du circuit considéré pour pouvoir être négligée.



APPLICATIONS A LA CHRONOMÉTRIE

INTRODUCTION

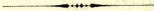
Les instruments consistant en des mouvements d'horlogerie sur lesquels réagissent des organes électro-magnétiques sont en nombre infini. Les horloges électriques proprement dites n'en forment qu'une petite catégorie à côté de laquelle les télégraphes, les enregistreurs météorologiques, les appareils de contrôle pour l'exploitation des chemins de fer, et une foule d'instruments de formes et de buts très divers, constituent une classe aussi nombreuse qu'intéressante.

L'espace dont nous disposons ne nous permet pas d'entrer dans le détail de tous ces appareils, et nous limiterons notre champ d'action à l'étude de ceux d'entre eux dans lesquels la mesure du temps joue un rôle principal.

Parmi les dispositifs qui ont été proposés pour obtenir tel ou tel résultat déterminé, nous décrirons ceux-là seulement qui offrent un intérêt réel, soit par leur originalité, soit par le succès qu'ils ont obtenu auprès du public, soit encore par certain caractère typique résumant en lui les traits distinctifs de toute une catégorie.

Cette réserve, nécessaire à la concision de cette étude, nous autorisera à laisser complètement de côté un grand nombre de mécanismes dépourvus des qualités que nous venons d'énumérer, et dont la description n'aurait d'autre résultat que de surcharger inutilement certains chapitres.

Nous nous occuperons peu de l'historique des questions rentrant dans notre cadre, mais nous nous attacherons surtout à faire connaître aux lecteurs les faits généraux que les expériences faites jusqu'ici ont mis au jour, et qui, comme tels, doivent être à la base de tout système bien combiné.



PREMIÈRE PARTIE

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE PROPREMENT DITE

CHAPITRE I^{er}

CLASSIFICATION

Le rôle de l'électricité dans les horloges peut être de deux sortes :

Ou bien cet agent fournit la force motrice entretenant le mouvement des mobiles de l'horloge ;

Ou bien il sert de lien entre deux ou plusieurs horloges, de manière à établir entre elles une solidarité telle que leurs cadrans indiquent continuellement la même heure.

Dans le premier cas, le remontage journalier ou hebdomadaire du ressort ou du poids moteur est remplacé par le remontage mensuel ou même semi-annuel de la pile fournissant le courant. L'opération consistant à corriger les écarts accumulés ensuite de l'imperfection inévitable de l'organe régulateur (pendule ou balancier), n'est point supprimée : l'horloge doit être maintenue à l'heure par l'intervention de l'homme aussi bien que si son moteur était un ressort ou un poids. Les horloges rentrant dans cette première catégorie sont ordinairement appelées horloges électriques tout court ; mais, pour éviter les confusions que cette désignation trop vague provoquerait, nous leur donnerons le nom d'*horloges électro-magnétiques*.

Dans le second cas, au contraire, c'est précisément cette intervention en vue du maintien à l'heure qui est supprimée, au

moins pour la plus grande partie des cadrans solidaires; seules les *horloges directrices* (ou horloges-mères) qui distribuent le courant aux *cadrans secondaires* doivent être maintenues à l'heure.

Les systèmes rentrant dans cette seconde catégorie sont appelés *systèmes d'unification de l'heure par l'électricité*. Ils se subdivisent eux-mêmes en trois sous-catégories, qui se distinguent entre elles par la manière dont les cadrans secondaires sont reliés à l'horloge directrice, et qui se définissent comme suit :

a) Systèmes où le courant distribué par l'horloge directrice est employé comme *moteur* actionnant directement les aiguilles des cadrans secondaires (*compteurs électro-chronométriques*).

b) Systèmes où ce courant est une simple *force de détente* destinée à remplacer l'action régulatrice du pendule des horloges secondaires; sa fonction se réduit alors à opérer à intervalles réguliers le déclenchement du poids ou du ressort (*horloges secondaires à déclenchement électrique*).

c) Systèmes où le courant agit comme *force correctrice* des horloges secondaires, celles-ci conservant non seulement leur moteur ordinaire, mais aussi leur pendule, et pouvant au besoin marcher tout à fait indépendamment de l'horloge directrice. Cette troisième sous-catégorie comprend :

c₁) Les systèmes dits de *remise à l'heure*, où les cadrans secondaires sont des horloges ordinaires à poids (ou à ressort) et à pendule avec échappement à ancre ou à cheville, et dans lesquelles le courant, envoyé à de grands intervalles (toutes les heures, toutes les six heures ou toutes les vingt-quatre heures), a pour fonction d'opérer instantanément la correction des aiguilles en les amenant à la même position que celles de l'horloge directrice.

c₂) Les systèmes dits à *synchronisation*, où les horloges secondaires sont également pourvues d'un moteur et d'un régulateur; le courant correcteur, envoyé par l'horloge-mère, agit directement sur le pendule en accélérant ou retardant ses oscillations. Ici, les émissions de courant sont plus rapprochées les unes des autres; elles ont ordinairement lieu toutes les secondes, ou toutes les deux secondes, ou même toutes les minutes, et elles ont pour

effet de synchroniser absolument les oscillations de tous les pendules secondaires, en les faisant *battre* en même temps que le pendule de l'horloge-mère.

Tous ces différents systèmes ont été appliqués soit indépendamment les uns des autres, soit en les combinant les uns avec les autres, de manière à réunir les avantages qui caractérisent chacun d'eux.

Nous allons étudier successivement, et dans l'ordre où nous les avons mentionnées, ces diverses catégories d'appareils.

CHAPITRE II

HORLOGES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES

On comprend facilement les avantages que l'on peut tirer de la coopération de l'électricité, lorsqu'il s'agit de faire marcher synchroniquement un certain nombre de cadrans plus ou moins éloignés ; l'instantanéité de son action, la propriété qu'elle a d'agir à de grandes distances, expliquent suffisamment son emploi comme agent d'unification de l'heure.

Le rôle de l'électricité dans ce que nous avons appelé les horloges électro-magnétiques est moins facile à saisir, et, au premier abord, on se demande ce que l'on gagne à remplacer l'opération si simple du remontage d'un poids ou d'un ressort, par le jeu d'un appareil aussi capricieux en apparence et aussi peu commode qu'une pile électrique.

Cependant, en considérant les choses d'un peu plus près, on constate que les horloges électro-magnétiques ont sur les horloges ordinaires certains avantages qui les rendent susceptibles d'une plus grande régularité de marche, et que nous allons rapidement énumérer :

Suppression de tous les rouages situés entre le barillet, siège de la force motrice, et la minuterie, et par suite des frottements qui en résultent. Dans certaines horloges électriques, telles que celles que M. Hipp construit pour les observatoires, la minuterie et les aiguilles elles-mêmes sont mécaniquement indépendantes

du pendule; celui-ci oscille avec la plus grande liberté possible, ce qui permet d'atteindre un degré de précision supérieur à celui des meilleurs régulateurs astronomiques.

Possibilité de distribuer l'heure à un certain nombre de compteurs électro-chronométriques battant la seconde. Il a été reconnu que des horloges à poids ou à ressort sont très influencées par les résistances mécaniques résultant des contacts à mettre en jeu pour actionner les compteurs, et que, par suite, leur bonne marche laisse fort à désirer. Cela n'est pas le cas dans les horloges électro-magnétiques bien combinées, où la force motrice fournie par la pile augmente en proportion même des résistances à vaincre.

Possibilité de soustraire le pendule à l'influence des variations barométriques en l'isolant de l'air atmosphérique, et par suite d'augmenter dans une proportion notable la régularité de sa marche.

Outre les propriétés ci-dessus, qui concernent plus spécialement les pièces de précision, les horloges électro-magnétiques de certains systèmes possèdent encore celle très utile de pouvoir fournir un travail mécanique considérable à côté de celui nécessaire à la mise en action des aiguilles. Cette qualité, dont les pendules de M. Hipp jouissent au plus haut degré, a permis à ce constructeur d'actionner directement par leur moyen les appareils enregistreurs les plus divers, tels que anémomètres, contrôleurs de vitesse des trains, contrôleurs de rondes, enregistreurs des niveaux d'eau, etc., et cela sans que la marche régulière de ces pendules soit compromise par la résistance des organes composant ces appareils. Elle lui a permis également d'augmenter dans une grande proportion le nombre des contacts électriques à fermer par ces pendules, et de commander ainsi d'un point central les instruments les plus divers: compteurs électro-chronométriques, baromètres ou thermomètres enregistreurs, anémomètres électriques, chronographes, sonneries, calendriers, etc., en un mot des appareils quelconques dont les électro-aimants doivent être mis en action à intervalles réguliers.

Nous avons dit que, dans les horloges électro-magnétiques, le rôle de l'électricité consiste à fournir la force motrice entretenant le mouvement des mobiles. Cette définition n'entraîne pas néces-

sairement la suppression du ressort ou du poids moteur; en effet, on peut concevoir (et ceci est précisément le cas de toute une catégorie d'horloges électro-magnétiques dites à *remontoir*) que, ce ressort ou ce poids subsistant, l'intervention de l'action électrique ait pour effet de les remonter à intervalles réguliers; l'horloge électro-magnétique diffère alors peu d'une horloge ordinaire à pendule ou balancier régulateur; le remontage de son moteur, au lieu d'être effectué directement par la main de l'homme, est fait par l'intermédiaire d'un électro-aimant, dont l'armature agit en faisant avancer d'une ou plusieurs dents un rochet placé sur l'axe du mobile auquel est adapté le ressort ou le poids. Le déroulement de celui-ci entretient le mouvement des mobiles; des dispositifs particuliers empêchent que ce mouvement ne soit interrompu pendant le temps du remontage.

Mais, à côté des horloges à remontoir dont nous venons d'expliquer le principe, il faut surtout considérer les horloges électro-magnétiques dans lesquelles le régulateur lui-même (ordinairement un pendule) est directement soumis aux impulsions de la force motrice. Celle-ci agit alors d'une manière intermittente pendant une partie seulement de la course du pendule, et c'est ce dernier qui, devenu ainsi le siège de la force, la transmet aux mobiles de l'horloge dont il règle en même temps le mouvement.

Il existe deux moyens d'entretenir électriquement le mouvement d'un pendule:

Ou bien le pendule lui-même est influencé directement par la force électrique, et alors il est muni soit d'une armature en fer doux, soit d'une bobine de fil isolé, lesquelles, oscillant avec lui, sont, en certains points de leur course, soumis aux attractions ou aux répulsions d'organes magnétiques fixes (*horloges électro-magnétiques à réactions directes*);

Ou bien la force électrique a pour fonction de soulever à intervalles réguliers (ordinairement à chaque oscillation du pendule) de petits poids ou de petits ressorts qu'elle abandonne ensuite à eux-mêmes, et cela à un moment où ceux-ci, en s'appuyant sur des bras fixés au pendule, peuvent restituer à ce dernier la portion de force vive qu'il a perdue pendant l'oscillation (*horloges électro-magnétiques à réactions indirectes*).

Dans les deux cas, c'est le pendule lui-même qui ferme, aux moments voulus, le circuit de la pile électrique sur les électro-aimants chargés d'entretenir son mouvement.

Horloges électro-magnétiques à remontoir. — Nous avons déjà indiqué leur principe: un ressort ou un poids réagissant soit directement, soit par l'intermédiaire de plusieurs mobiles sur la roue d'échappement, est remonté à intervalles réguliers par l'armature d'un électro-aimant.

C'est M. *Breguet*, de Paris, qui a eu le premier l'idée de cette disposition. Dans sa

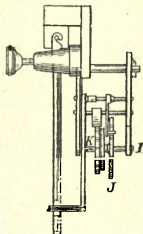


Fig. 31

pendule, la roue d'échappement *J* (fig. 31), sur laquelle réagit le pendule, est montée sur un axe *IK*; sur ce dernier tourne à frottement libre le rochet *K*. Un spiral *S* (fig. 32), dont l'extrémité intérieure est fixée sur l'axe *IK* et l'extrémité extérieure sur l'un des rayons du rochet *K*, constitue le moteur à remontoir.

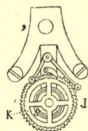


Fig. 32

En *A* (fig. 33) est l'électro-aimant remonteur; son armature, dont l'axe est en *E*, porte un bras rigide *E'*, qu'un ressort antagoniste *G* tend à incliner vers la droite, et dont deux vis d'arrêt limitent la course. Le bras *E'* est muni de deux cliquets: l'un *N* fait, à chaque attraction de l'armature *E*, avancer d'une dent le rochet *O* commandant la minuterie et les aiguilles; l'autre, *L*, travaille sur le rochet *K* du remontoir et le fait avancer d'une dent à chaque retour de l'armature *E*; cette dernière fonction du cliquet *L* a donc pour effet de tendre le spiral *S* d'une quantité convenablement calculée, et d'entretenir ainsi le mouvement du pendule de l'horloge.

Le circuit électrique *abcdef*, dans lequel se trouve l'électro-aimant *A*, est complété en *a* par la tige du pendule et un ressort de contact *b*, mais n'est fermé en ce point que lorsque ce pendule touche le ressort *b*. L'électro-aimant *A* est donc actif lorsque le pendule est incliné à droite, et inactif lorsqu'il est

incliné à gauche. La pile fournissant le courant est reliée aux bornes *b'* et *f*.

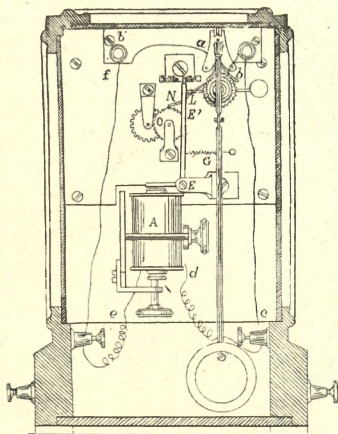


Fig. 33

La pendule à remontoir, de *MM. Mouilleron et Anthoine*, est semblable à celle de Breguet. Elle est, en outre, pourvue d'un dispositif qui permet à l'horloge de continuer à marcher, quand bien même l'armature de l'électro-aimant manquerait, ensuite d'un défaut momentané au contact ou à la pile, un ou plusieurs de ses mouvements. Pour cela, le rochet de remontage du spiral tend ce dernier d'une quantité plus grande que celle dont il s'est détendu par la rotation de la roue d'échappement, ce qui s'obtient simplement en donnant au rochet remonteur un moins grand nombre de dents qu'à cette roue d'échappement. Mais alors, pour éviter une trop grande tension du spiral dans le cas où tous les contacts seraient bons, un dispositif spécial

empêche le cliquet d'impulsion de faire avancer le rochet toutes les fois que la tension maximum est atteinte.

Dans la pendule de M. *Callaud*, inventeur de la pile de ce nom, le ressort de remontoir n'est pas sur l'axe même de la roue d'échappement, ce qui permet d'espacer davantage les émissions du courant. Les contacts n'ont lieu en effet que toutes les minutes ; ils sont fermés non pas par le pendule lui-même, mais par un double rochet porté sur un axe faisant un tour en dix minutes. Les dents de l'un des rochets sont en avance sur celles de l'autre d'une quantité équivalente à deux secondes (fig. 34). Les contacts

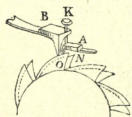


Fig. 34

sont fournis par les deux frotteurs A et B, et l'on comprend immédiatement, à l'inspection de la figure 34, que le courant arrivant par A et sortant par B n'est fermé que pendant le moment où la vis K du frotteur B touche le frotteur A ; cet attouchement commence lui-même lorsque le frotteur B, n'étant plus soutenu par la dent O du rochet antérieur, tombe sur le

frotteur A, et finit lorsque ce dernier a quitté la dent N du rochet postérieur.

Cette disposition ingénieuse de l'interrupteur a permis à M. *Callaud* d'obtenir les contacts longs et intimes qui étaient nécessaires pour agir avec sûreté sur un électro-aimant chargé de bander un ressort-spiral relativement fort.

M. *Mildé* a aussi construit une horloge électro-magnétique à remontoir semblable, en principe, à celle que nous venons de décrire. Il l'a même pourvue d'une sonnerie d'heures et de quarts d'heure, dont les timbres sont mis en action par le même électro-aimant qui opère toutes les minutes le remontage du ressort moteur. C'est une pièce compliquée, très ingénieuse d'ailleurs, mais dans le détail de laquelle nous ne pouvons entrer. Nous renvoyons ceux de nos lecteurs que ces mécanismes intéressent, au tome IV de l'*Exposé des applications de l'électricité* de M. du Moncel, qui en donne une description minutieuse.

Parmi les horloges électro-magnétiques à remontoir, il faut ranger celles de M. *Schweizer*, qui ont été remarquées lors de

l'Exposition internationale d'électricité à Paris en 1881, et qui ont eu un certain succès.

Les figures 35 & 36 en donnent une idée suffisante. r est une roue dentée qui est montée sur l'axe de la minuterie et qui commande tous les mobiles de l'horloge, y compris la roue d'échappement e sur laquelle réagit un balancier. Une lame de ressort plat f est fixée par son extrémité inférieure sur l'axe de la roue a , et son extrémité supérieure exerce une pression sur une goupille de la roue dentée r_3 . Si l'on peut, par un moyen quelconque, faire tourner la roue r_3 , on exercera en même temps une pression continue sur le ressort a , et par suite on mettra en mouvement l'axe r et les mobiles de l'horloge.

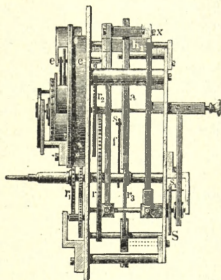


Fig. 35

C'est un cliquet d'impulsion a qui est chargé de faire tourner la roue r_3 , et cela par l'intermédiaire d'un rochet (fig. 36) monté

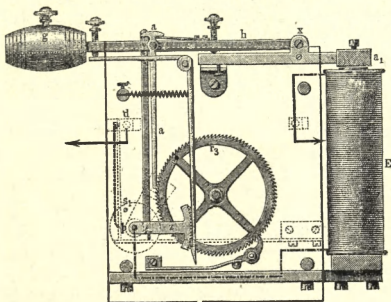


Fig. 36

sur le même axe. Ce cliquet a est lui-même poussé de haut en bas par l'action d'un poids g adapté à l'extrémité d'un levier dont l'axe est en x , et dont le prolongement de l'autre côté de cet axe porte l'armature a_1 . Lorsque le poids g et son levier sont arrivés au bout de leur course, un courant passe par l'électro-aimant E ; celui-ci attire brusquement l'armature a_1 , et remonte ainsi le poids g et le cliquet a ; ce dernier, après avoir glissé sur une ou plusieurs dents du rochet, s'arrête derrière l'une d'elles, et recommence ainsi à faire tourner le rochet sous l'influence du poids g , dont l'action n'est plus contre-balancée par la force attractive de l'électro-aimant.

Le contact fermant le courant est opéré à la fin de la course du poids g au moyen d'un dispositif facile à concevoir. Ce contact se voit en s_1 (fig. 36). Le ressort plat f remplace le poids g pendant le temps très court où celui-ci est remonté.

Mentionnons encore, comme rentrant dans la catégorie des horloges à remontoir, celles de *Lewin & Co*, de Berlin, construite en 1867, celles de *Förster*, de Posen, et celle de *Zimber*, de Furtwangen, dans lesquelles la force du remontoir est fournie par un poids comme dans les horloges de Schweizer (voir le livre publié par M. le Dr Tobler: *Die elektrischen Uhren nach dem Standpunkte der Gegenwart*, Hartleben, Wien 1883).

Horloges électro-magnétiques à réactions directes. — *Bain* paraît être le premier qui ait construit (1840) une horloge susceptible d'être maintenue en marche par l'action électro-magnétique. Le pendule de cette horloge porte, au lieu de la lentille, une bobine électro-magnétique disposée horizontalement. Deux aimants permanents fixes, placés à droite et à gauche, exercent à tour de rôle des répulsions et des attractions sur la bobine oscillante, celle-ci étant parcourue par des courants dont le pendule lui-même ferme le circuit aux moments voulus.

Le principal inconvénient de cet arrangement gît dans le fait que la durée d'oscillation varie avec l'intensité du courant, et que, par suite, la marche de l'horloge n'est un peu régulière qu'autant que la pile elle-même conserve une force constante.

M. *Hipp*, tout en adoptant le principe des réactions directes, est parvenu à éviter l'inconvénient que nous venons de signaler,

en construisant d'une manière toute spéciale le dispositif chargé de fermer le courant sur l'électro-aimant. Ce dernier est fixe et peut réagir sur une armature de fer doux *a* (fig. 37, 38 & 39) qui oscille avec le pendule, et qui se meut aussi près que possible des pôles de l'électro-aimant *b*. Le dispositif dont nous venons de parler, et que M. Hipp a appelé *échappement électrique*, est constitué par une lame d'acier *cd* (fig. 37) placée horizontalement à mi-hauteur du montant portant la suspension *X* du pendule; l'une des extrémités de cette lame est serrée dans un pilier *c* par le moyen d'une vis à poulet; l'autre extrémité pénètre dans la fente d'un pilier analogue *c*₁, et s'appuie en temps ordinaire sur la pointe d'une vis isolée dont la tête est visible au-dessous du pilier *c*₁; une autre vis, visible au-dessus de ce pilier, présente sa pointe garnie de platine vis-à-vis de l'extrémité *d*₁ de la lame, qui est elle-même munie de platine en cet endroit. Vers le milieu de cette lame est suspendue une petite pièce d'acier *e*, appelée *palette*, qui est taillée en forme de couteau et qui est très mobile autour de son axe. Le point de suspension de cette palette est un peu en dehors de la ligne verticale passant par le point de suspension du pendule; par contre, il se trouve dans son plan d'oscillation, et c'est pour cette raison que la tige du pendule est coudée (fig. 38 & 39) d'avant en arrière à la hauteur de l'échappement électrique. Au pendule est fixée une pièce *f* d'acier trempé ou d'agate, qui est appelée *contre-palette*, et qui est munie d'une ou deux légères entailles parallèles au couteau de la palette.

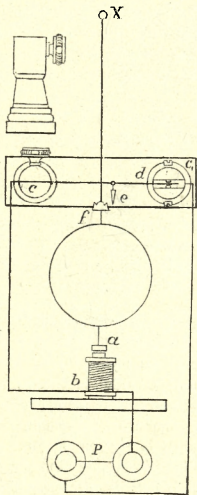


Fig. 37

La pile P est réunie par des fils à l'électro-aimant et aux piliers c et c_1 , ainsi que l'indique la figure 37.

Voici maintenant quel est le jeu de cette ensemble :

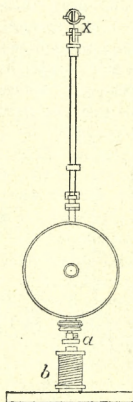


Fig. 38

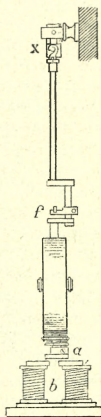


Fig. 39

Le pendule ayant été écarté de la verticale jusqu'à ce que la contre-palette f ait dépassé la palette e , puis ayant été abandonné à lui-même, cette palette sera à chaque oscillation légèrement touchée par la contre-palette; mais comme l'axe de la palette est très mobile, celle-ci sera écartée soit à droite, soit à gauche, sans que le ressort cd soit influencé. Au bout d'un certain temps, le pendule perdant peu à peu sa force vive, et l'amplitude de son oscillation diminuant, il arrivera un instant où le retour de l'oscillation s'effectuera au moment

précis où le tranchant de la palette se sera engagé dans l'entaille de la contre-palette; à ce moment il y aura arc-boutement entre ces deux pièces, et, par suite, soulèvement du ressort cd ; l'extrémité de celui-ci entrera en contact avec la vis supérieure du pilier c_1 , et fermera le circuit de la pile sur l'électro-aimant. Ce dernier attirera l'armature de fer doux du pendule, et lui restituera ainsi la portion de force vive qu'il avait perdue. La durée et l'instant de cette attraction dépendent de la quantité dont l'axe de la palette est situé à droite (ou à gauche) de la ligne verticale passant par l'axe X du pendule. En effet, l'essentiel est ici que l'armature ne soit influencée par les noyaux de l'électro-aimant que pendant la partie descendante de sa course. Tôt après cette

première impulsion, le pendule recommence à osciller librement; l'impulsion suivante n'a lieu qu'au moment où le pendule a atteint une seconde fois son minimum d'amplitude, et ainsi de suite. La *durée d'impulsion*, c'est-à-dire l'intervalle de temps s'écoulant entre deux contacts consécutifs, varie avec la force de la pile.

Grâce à cette disposition, la pile n'est mise à contribution que lorsque cela est réellement nécessaire; aussi est-elle beaucoup moins vite usée que dans les systèmes où le courant agit à chaque oscillation du pendule. En outre, la marche de la pendule est beaucoup moins influencée par les variations de l'intensité du courant, celles-ci ayant pour effet simplement de changer la durée d'impulsion; l'amplitude même des oscillations reste à peu près constante, puisqu'elle ne peut pas tomber au-dessous d'un certain minimum. Enfin, la restitution de la force vive du pendule se fait sans aucun choc.

Un inconvénient reste cependant attaché à l'échappement électrique tel que nous venons de le décrire. A chaque rupture du courant fermé par le contact se produit entre les deux surfaces de l'interrupteur une étincelle qui, ainsi que nous l'avons vu dans la partie théorique de ce travail, est due à l'extra-courant de rupture prenant naissance dans l'électro-aimant de la pendule, et qui finit par oxyder le contact et le rendre incertain. Nous examinerons plus tard les divers moyens proposés pour éviter cette étincelle. Pour le moment, nous nous contenterons d'indiquer la manière dont M. Hipp a résolu le problème. Il offre simplement à l'extra-courant naissant un circuit fermé dans lequel les bobines de l'électro-aimant sont intercalées, et où cet extra-courant s'annule lui-même.

La figure 40 donne cette disposition, qui a été appliquée par *Brunn* aux horloges électriques à peu près à la même époque que par M. Hipp.

Si le rebroussement du pendule commence pendant que le tranchant de la palette est engagé dans l'entaille de la contre-palette, le ressort *C* est poussé en haut et son extrémité gauche lève le ressort *C'*; mais aussitôt que le ressort inférieur touche le ressort supérieur, le courant de la pile *P* est établi et circule dans

les bobines de l'électro-aimant E ; dès que la palette permet au ressort C de revenir en arrière, le ressort C' vient s'appuyer en a avant d'être abandonné par le ressort C , en sorte que les bobines

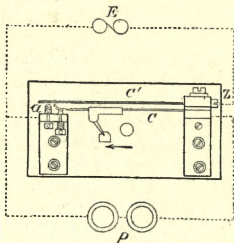


Fig. 40

se trouvent intercalées dans un circuit fermé $EZC'aE$, où l'extra-courant de rupture s'anéantit; peu après, le ressort C cesse de toucher le ressort C' , et le courant est interrompu. L'étincelle d'induction est ainsi presque complètement supprimée. Au repos, les ressorts s'appuient sur des vis que l'on peut régler; la vis sur laquelle s'appuie C' est garnie de platine, tandis que celle sur

laquelle repose C est munie d'une pointe isolante. La désaimantation des noyaux de l'électro-aimant après l'interruption du courant est ralentie par cette disposition, mais ceci n'a, dans le cas présent, aucune importance.

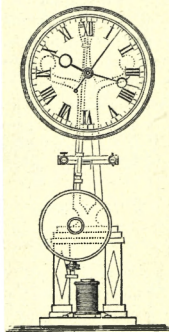


Fig. 41

M. Hipp a appliqué ce système d'échappement électrique à des horloges électro-magnétiques dont le pendule bat la seconde ou la demi-seconde; dans les deux cas, le mouvement oscillatoire du pendule est transporté sur une roue d'échappement qui fait un tour par minute, et dont l'axe porte une aiguille à secondes; la minuterie commandant les aiguilles de minutes et d'heures est disposée de la façon ordinaire. La figure 41 représente une horloge de ce genre battant la demi-seconde; c'est un type de fabrication extrêmement courante, et qui a réussi

à détrôner à peu près complètement tous les autres systèmes d'horloges électro-magnétiques.

La figure 42 donne la vue d'ensemble d'une horloge électro-magnétique de précision que M. Hipp construit pour les observatoires; c'est un simple pendule à secondes dont le mouvement est entretenu électriquement, et qui, à chaque oscillation, lance le courant d'une pile spéciale dans un ou plusieurs compteurs électro-chronométriques. Le cylindre en verre *a* isole le pendule de l'air atmosphérique, et le soustrait ainsi à l'influence des variations barométriques; ordinairement on y fait, au moyen de la pompe pneumatique, un vide partiel, dont le but est d'éviter que les variations de température n'exercent une trop grande influence sur la densité de l'air intérieur de la cloche.

Nous allons décrire un peu en détail cet appareil remarquable, qui a figuré pour la première fois à l'exposition d'électricité de Paris en 1881, et qui a valu à son inventeur la médaille d'or.

Les parties principales de cet instrument sont:

1° Le pendule proprement dit *A*, avec sa suspension à ressorts et sa lentille (vase à mercure).

2° L'électro-aimant *B* chargé d'entretenir le mouvement du pendule.

3° L'échappement électrique *C*.

4° L'appareil à contacts *D*, qui lance à chaque oscillation du pendule des courants alternativement renversés dans des compteurs électro-chronométriques battant la seconde.

Le pendule *A* consiste en deux tiges d'acier qui sont réunies entre elles par quatre traverses de laiton. La première traverse (*b*)

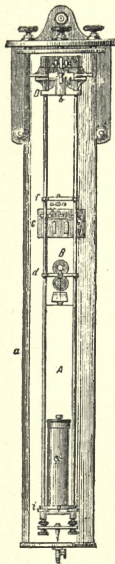


Fig. 42

embrasse la partie inférieure de la suspension à ressort; la seconde (*f*) porte la contre-palette et son appareil de réglage; la

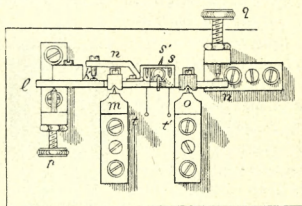


Fig. 43

derrière lui, à mi-hauteur; l'armature oscille ainsi *entre* les noyaux de l'électro-aimant.

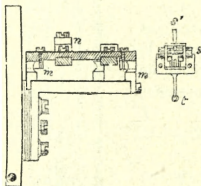


Fig. 44

troisième (*d*) l'armature de l'électro-aimant fixe *B*, et la quatrième (*i*) la lentille.

L'électro-aimant *B* n'est plus placé, comme dans les horloges que nous venons de décrire, au-dessous du pendule, mais bien

L'échappement électrique se trouve au-dessus de l'électro-aimant; il est en principe semblable à celui dont nous nous sommes occupé tout à l'heure, mais sa disposition est un peu différente, afin de réduire à leur minimum les variations provenant des frottements mécaniques. Il est représenté en vue de face (fig. 43), vue de côté (fig. 44) et en plan (fig. 45).

Le contact proprement dit, chargé de fermer le circuit de la pile sur l'électro-aimant *B*, se voit

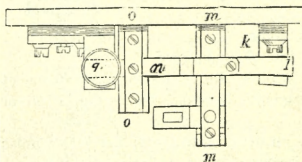


Fig. 45

en *k*. Il entre en activité lorsque le levier *l*, portant la palette *s'*, oscille légèrement autour de son axe à coupleau *m* sous l'effet de l'arc-boutement entre la palette et la contre-palette. Un second le-

vier n , portant la vis de contact k , peut lui-même osciller autour de son axe o ; p et q sont des vis d'arrêt qui soutiennent les leviers l et n .

Le corps de palette s (fig. 44) peut osciller sur un couteau porté par le levier l ; la palette elle-même est tournée en haut. A droite et à gauche du corps de palette sont adaptées deux goupilles qui font entre elles un certain angle. Suivant que la palette est inclinée à droite ou à gauche, l'une ou l'autre de ces goupilles lève l'un des deux petits contrepoids t ou t' ; celui de ces derniers qui n'est pas ainsi soulevé repose dans une fente convenablement disposée du levier l .

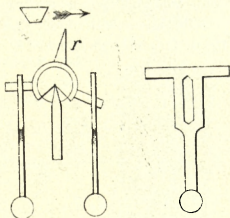


Fig. 46

Supposons maintenant que la palette r soit inclinée à droite (fig. 46); le contrepoids de droite s'appuie dans la fente *ad hoc* du levier l ; celui de gauche est soulevé par la goupille de gauche. La contre-palette g , oscillant avec le pendule vers la droite, va toucher légèrement l'extrémité de la palette, ce qui forcera celle-ci à s'incliner encore un peu plus vers la droite, et par suite à lever davantage le contrepoids de gauche. Mais, au moment où la contre-palette g continuant son mouvement vers la droite aura dépassé la palette, le contrepoids de gauche tombera brusquement en entraînant avec lui la goupille correspondante; la palette sera alors forcée de se renverser en s'inclinant à gauche et prendra la position de la figure 47, où le contrepoids de droite est soulevé et celui de gauche appuyé sur le levier l . La contre-palette oscillant maintenant de droite à gauche viendra de nouveau toucher la palette, et celle-ci, redevenue libre, se renversera vers la droite, et ainsi de suite.

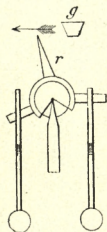


Fig. 47

Ce jeu se répète à chaque oscillation du pendule aussi longtemps que l'amplitude de ces oscillations est assez grande pour permettre à la palette *d'échapper* avant le retour de la contre-palette. Mais, au moment où cette amplitude atteint la valeur pour laquelle la palette vient s'engager dans l'entaille de la contre-palette, le retour de l'oscillation ne pourra s'effectuer qu'en forçant le levier *l* à osciller légèrement autour de son axe (fig. 48), ce qui aura pour effet de fermer le contact *k* et de lancer le courant de la pile dans

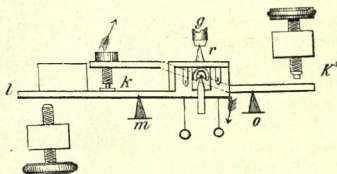


Fig. 48

l'électro-aimant *B* qui, agissant sur l'armature fixée au pendule, donnera à ce dernier l'impulsion nécessaire. Les positions relatives de la palette et de la contre-palette sont telles que le contact *k* ne puisse être fermé que pendant la partie de la course de l'armature où celle-ci se rapproche de l'électro-aimant.

Le contact auxiliaire chargé de supprimer l'étincelle de l'extracourant est en *k'*. Il agit de la même façon que cela a déjà été expliqué plus haut.

L'appareil à contact *D* (fig. 42) se trouve à droite et à gauche

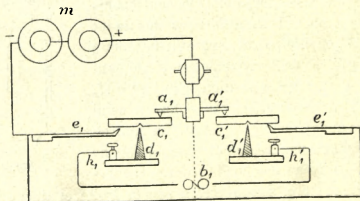


Fig. 49

de la suspension à ressort du pendule. La figure 49 en donne une vue schématique. Deux pièces de contact a_1 a'_1 , en forme d'équerre, et adaptées à la partie inférieure de cette suspension, peuvent tour à tour faire contact avec des leviers triples c_1 c'_1 ; ces derniers peuvent osciller légèrement autour des couteaux d_1 d'_1 ; leurs extrémités extérieures reposent, lorsqu'ils ne sont pas soulevés par les pièces a_1 a'_1 , sur des ressorts de contact e_1 e'_1 , que des vis permettent de régler.

Lorsque le pendule est incliné à droite, le courant de la pile m parcourt le circuit suivant :

$m^+ - a_1 - c_1 - d_1 - h_1 - \text{électro-aimant } b_1$
du compteur électro-chronométrique — h'_1
— $d'_1 - c'_1 - e'_1 - m^-$.

Lorsqu'il est incliné à gauche, on a :

$m^+ - a'_1 - c'_1 - d'_1 - h'_1 - b_1 - h_1 -$
 $d_1 - c_1 - e_1 - m^-$.

On voit que, dans le second cas, le courant parcourt l'électro-aimant b_1 dans une direction inverse de celle du premier cas. Cette dernière condition doit en effet être remplie toutes les fois qu'il s'agit d'actionner, au moyen d'une horloge-mère, des compteurs électro-chronométriques du système de M. Hipp. Ceux-ci sont à armatures polarisées, et nécessitent par conséquent des renversements alternatifs du courant.

La figure 50 donne une vue perspective de la pendule de précision de M. Hipp et d'un compteur électro-chronométrique battant la seconde, tels que ceux que l'on relie à cette pendule pour en compter les oscillations.

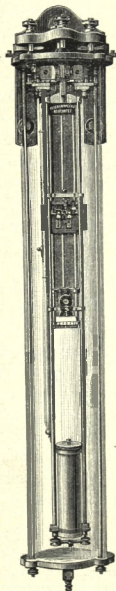
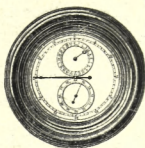


Fig. 50

Les résultats obtenus par M. Hipp, au moyen du régulateur qui vient d'être décrit, sont remarquables. Les variations diurnes moyennes ne dépassent pas trois centièmes de seconde. D'autre part, le jeu des interrupteurs de l'appareil à contacts *B* est tel, qu'ils peuvent fonctionner pendant des années consécutives sans qu'il soit nécessaire de les nettoyer.

M. *Lemoine* a fait de l'échappement électrique de M. Hipp une grossière contrefaçon, à laquelle il donne le nom de *Papillonome*, et dans laquelle la pièce principale, la palette, est constituée par une feuille de mica découpée en forme de papillon. Nous ne la mentionnons que pour mémoire.

Dans une autre horloge de M. *Lemoine*, où, comme dans la précédente, le pendule reçoit ses impulsions par l'intermédiaire d'une armature oscillant au-dessus d'un électro-aimant fixe, les fermetures du courant sont opérées à intervalles réguliers par une roue en forme d'étoile calée sur l'axe de la roue d'échappement. Celle-ci est actionnée directement par le pendule.

Dans l'horloge électrique de M. *Lassance*, une combinaison ingénieuse d'interrupteurs entrant successivement en action fait que l'armature oscillant avec le pendule n'est attirée par l'électro-aimant que dans la partie descendante de sa course. M. Merling, dans le livre qu'il a publié récemment sur les horloges électriques, en donne une description complète à laquelle nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui sont familiarisés avec la langue allemande (*).

Horloges électro-magnétiques à réactions indirectes. — Ainsi que nous l'avons dit plus haut, cette catégorie d'horloges est caractérisée par l'emploi de poids ou de ressorts qui, soulevés ou tendus par la force électro-magnétique, réagissent sur le pendule en retombant ou en se détendant, de manière à entretenir ses oscillations. Ce système a le grand avantage de rendre la marche du pendule indépendante des variations du courant, puisque les impulsions sont dues à une force constamment égale à elle-même.

(*) Au cours de cette étude, il nous arrivera fréquemment de renoncer à la description de tel ou tel appareil d'importance secondaire, et de renvoyer à d'autres ouvrages. Encore une fois, la quantité des dispositifs proposés pour atteindre le même résultat est telle, que nous ne pouvons nous arrêter qu'à ceux qui ont le plus d'importance.

Par contre, les fermetures du courant ayant forcément lieu à chaque oscillation du pendule, il se fait une grande dépense de pile. En outre, ces impulsions sont toujours accompagnées de secousses et de chocs plus ou moins forts, qui compromettent quelquefois à un haut degré la régularité de marche, et rendent ainsi illusoire l'avantage de la constance de la force produisant l'impulsion.

Parmi les nombreuses pendules à réactions indirectes qui ont été proposées et construites, nous ne décrirons ici que celle de M. *Froment*, l'une des plus anciennes, qui, grâce à sa simplicité, pourra servir de type pour les horloges de cette classe.

Immédiatement au-dessous et à gauche de son point de suspension, le pendule *ab* (fig. 51) porte un bec *c* muni d'une vis qui peut soulever un petit poids *d* adapté à l'extrémité d'une lame flexible. Une bascule *df'*, ayant son axe en *f*, et dont la course est limitée par deux vis de réglage, soutient le poids *d* et l'empêche de s'appuyer sur la vis du bec *c* lorsque le pendule est incliné à droite. L'armature *f*, fixée à la queue de la bascule, en regard des pôles de l'électro-aimant *g*, oblige par son poids la bascule à s'appuyer sur la vis *h*; mais lorsque l'électro-aimant *g*, devenant actif, attire l'armature *f*, il enlève au poids *d* l'appui de la bascule, et lui permet de peser pendant une certaine partie de la course du pendule sur la vis du bec *c*, et de lui donner ainsi une impulsion qui entretient son mouvement. Le pendule ferme lui-même aux moments voulus le contact excitant l'électro-aimant *g*.

Un grand nombre d'horloges semblables en principe à celle de M. *Froment* ont été décrites dans divers ouvrages. Citons parmi les plus importantes celles de MM. *Vérité*, *Robert-Houdin* et *Detouche*, *Garnier*, *Grasset*, *Lasseau*, *Gérard*, *Liais*, *Geist*, *Kramer*, etc.

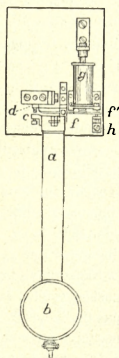


Fig. 51

CHAPITRE III

SYSTÈMES D'UNIFICATION DE L'HEURE PAR L'ÉLECTRICITÉ

Généralités. — La principale application de l'électricité à l'horlogerie est celle qui a pour but d'unifier l'heure indiquée par les diverses horloges d'une même localité ou d'une même contrée. L'importance attachée à la solution pratique d'un pareil problème est en raison directe de l'immense accroissement de valeur que le temps a pris dans notre siècle de télégraphes et de chemins de fer. Connaître à chaque instant de la journée l'heure exacte à la minute près, est aujourd'hui devenu une nécessité dont la réalisation n'est possible qu'à la condition d'avoir cette heure uniforme et exacte répartie sur tous les points où se concentre l'activité humaine; celle-ci, en effet, ne peut se déployer avec toute l'utilité qu'elle comporte qu'en tant qu'elle est rigoureusement soumise à l'influence de ce grand régulateur qu'on appelle la notion du temps. Gares de chemins de fer, bureaux, ateliers, administrations, hôtels, postes, écoles, ports de commerce, places et carrefours, il n'est pas un de ces endroits qui, dans un avenir plus ou moins éloigné, ne doive être pourvu du cadran, grand ou petit, sur lequel ceux qui les fréquentent puissent suivre la marche du temps: non pas ce temps d'autrefois dont nos grands-pères, gens peu pressés, aimaient les allures vagues et indéterminées, et dont l'inexorabilité était singulièrement atténuée par la mesure fantaisiste qu'on en faisait, mais le temps moderne, précis comme le saut d'une aiguille à secondes, régulier comme les vibrations du diapason, uniforme comme le mouvement de la terre.

Outre les services considérables que l'on peut attendre de l'unification de l'heure dans tous les domaines de la vie civile, il importe de mentionner ceux, très grands aussi, qu'elle peut rendre dans les pays horlogers, où le réglage des montres et des chronomètres réclame un degré de précision que l'on peut difficilement atteindre par les moyens ordinaires. Elle permet, en effet, de mettre

l'heure astronomique à la portée immédiate de l'horloger ; il suffit, pour cela, d'installer dans son atelier un cadran en relation avec l'horloge-mère réglée elle-même par l'Observatoire.

L'instantanéité d'action de l'électricité a fait de cette force la seule capable de synchroniser avec l'exactitude voulue la marche d'un grand nombre d'horloges. Les obstacles auxquels sont venus se heurter les inventeurs à la recherche d'une solution satisfaisante du problème qui nous occupe, ont été assez nombreux et en apparence assez insurmontables pour décourager la plupart d'entre eux. La difficulté n'était pas seulement de se servir de l'électricité pour faire fonctionner des horloges : ce problème, quoique déjà difficile en lui-même, fut dès l'origine abordé avec un certain succès ; le point délicat, celui qui mit à une rude épreuve la patience des inventeurs, était de soustraire les mouvements d'horlogerie des cadrans publics aux influences perturbatrices du milieu dans lequel il s'agissait de les faire marcher : la pluie, la poussière, la rouille, les changements brusques de température, les courants d'électricité atmosphérique, tels sont ici les principaux ennemis à combattre. On remarquera en effet que la plupart de ces causes de perturbation affectent également les horloges non électriques, et si leur influence devint surtout apparente au moment où l'on chercha à appliquer l'électricité à l'horlogerie, cela vient de ce que le nombre des cadrans exposés aux intempéries de l'air était jusqu'alors trop restreint, et l'exactitude que l'on attendait d'eux trop minime, pour que l'on eût l'occasion de s'en préoccuper sérieusement. L'horlogerie électrique, qui eut surtout comme objectif la distribution publique de l'heure, eut au contraire immédiatement à compter avec eux, et c'est à cette circonstance qu'il faut attribuer le peu de succès des premiers essais faits dans cette direction. Aujourd'hui, les progrès de cette branche des applications de l'électricité sont assez grands pour que l'on puisse hardiment poser en principe qu'un cadran électrique bien construit peut, en plein air, fonctionner avec plus de sûreté qu'une horloge ordinaire à échappement et à poids (*).

(*) Nous pourrions citer à l'appui de cette assertion l'exemple de nombreux compteurs électriques du système de M. Hipp qui, pendant plus de huit années, ont

Ce que nous venons de dire suffira également à expliquer la supériorité incontestable que la télégraphie électrique prit dès l'origine, comme développement et comme succès, sur l'horlogerie électrique; cette dernière doit, d'ailleurs, satisfaire à des conditions infiniment plus difficiles que celles auxquelles est astreinte la télégraphie. En effet, qu'un appareil télégraphique refuse momentanément le service, l'employé seul qui le dessert s'en aperçoit directement, et, la plupart du temps, il peut remédier immédiatement lui-même à un défaut qu'il constate facilement puisqu'il a l'appareil sous la main. Au contraire, qu'une horloge exposée aux regards de tous les passants vienne à manquer une, deux ou plusieurs minutes, le contrôle a bien lieu au moment même de la faute, mais la correction de celle-ci ne peut ordinairement se faire qu'un certain temps après son apparition. L'appareil télégraphique pourra donc faillir un assez grand nombre de fois sans que, pour cela, on le déclare incapable de servir, tandis que quelques infidélités de l'horloge suffiront pour que le public, spectateur souvent peu sympathique de ses défaillances, la condamne irrévocablement. Le télégraphiste s'attache à son appareil, et l'affection qu'il ressent pour lui, subsistant même dans la mauvaise fortune, lui fait pardonner des fautes pour lesquelles il est d'autant plus indulgent qu'il en connaît mieux la cause; le public est inaccessible à de pareils sentiments vis-à-vis d'un instrument qui est à l'usage de tous, dont il ignore la construction et le fonctionnement, et duquel il ne veut savoir qu'une chose : c'est qu'il fasse son devoir. L'horloge publique a d'ailleurs, ainsi que nous venons de le dire, une lutte rude et continue à soutenir contre les intempéries : la pluie qui, en s'introduisant dans le mouvement, en rouille les pièces d'acier ou de fer; la poussière, qui épaissit les huiles; les changements brusques de température, qui affectent les organes métalliques et provoquent la condensation des vapeurs d'eau en suspension dans l'air intérieur de l'horloge, etc. Dans les horloges électriques, la

marché sans interruption et sans que la main de l'homme soit intervenue pour les régler. Au bout de ce temps, un nettoyage étant devenu absolument nécessaire, on constata sur les mouvements une couche de poussière et de toiles d'araignée dont la dixième partie aurait suffi pour condamner à l'immobilité complète l'échappement à ancre ou à cheville le mieux construit.

coopération du courant galvanique peut, lorsqu'elle est mal comprise, être aussi la source de graves inconvénients, capables de compromettre à eux seuls toute une installation ; c'est ainsi que les courants d'électricité atmosphérique, superposant leur action à celle du courant galvanique, peuvent faire avancer de plusieurs minutes sur l'horloge-mère les cadrans mal défendus contre leurs effets ; des interrupteurs mal combinés occasionnent des *ratés* qui font, au contraire, retarder les compteurs ; une pile défectueuse ne distribue qu'une force motrice insuffisante ; des lignes mal isolées détournent le courant et l'empêchent d'arriver aux horloges.

Aujourd'hui, on peut considérer comme surmontés les obstacles que nous venons d'énumérer rapidement. Il existe des installations complètes où plusieurs centaines de cadrans, fonctionnant avec la régularité désirable, distribuent à de grandes distances l'heure unifiée. Les résultats techniques et financiers obtenus jusqu'ici sont assez concluants pour que l'on puisse prédire à l'horlogerie électrique un brillant avenir.

Organes essentiels d'un système d'unification de l'heure. — Avant de décrire les différents systèmes d'unification qui ont été proposés et dont nous avons donné au chapitre I^{er} la classification, nous consacrerons quelques instants à l'étude détaillée des organes principaux composant les parties délicates de tout système de ce genre.

Nous avons, au chapitre III des *Notions préliminaires*, qui servent d'introduction à ce travail, attiré l'attention du lecteur sur les trois organes essentiels de toute installation électrique, à savoir : le *générateur*, le *récepteur* et le *conducteur* du courant. Comme nous avons affaire ici à des courants agissant non pas d'une manière continue, mais par intermittences, nous avons à introduire un quatrième facteur : l'*interrupteur*, chargé de régler la durée et la fréquence des *émissions* de ce courant.

Examinons à quelles conditions doit satisfaire chacun de ces organes.

Nous n'avons que peu de chose à ajouter à ce qui a été dit dans la partie théorique (sources d'électricité) au sujet des meilleures piles à employer en horlogerie électrique ; le choix d'une bonne pile est évidemment essentiel, mais ce qui est très important

aussi, c'est l'entretien de cette pile. On comprend, en effet, que le fonctionnement régulier d'un système d'horloges publiques dépend au plus haut point de la régularité d'intensité des émissions successives du courant. Cependant, cette dépendance peut être considérablement diminuée, si les récepteurs et leur mode d'intercalation sont choisis de telle façon que des variations du courant puissent se produire dans des limites assez grandes, sans que, pour cela, il y ait perturbation du système. Cette condition remplie, la surveillance de la pile devient très facile; c'est là un grand avantage qu'apprécieront hautement tous ceux qui savent par expérience combien il est difficile de maintenir à la même valeur l'intensité d'une pile en activité.

Le *récepteur* du courant est ici, comme dans la plupart des appareils électriques, constitué par l'électro-aimant chargé de transformer en mouvement mécanique la force électrique du courant. Il est inutile d'insister sur les avantages que présentent, au point de vue de la meilleure utilisation du courant, les électro-aimants bien combinés. Mais que faut-il entendre par électro-aimant bien combiné en matière d'horlogerie électrique? Telle est la question essentielle que beaucoup d'inventeurs ont négligée. Pour y répondre, représentons-nous un peu les conditions de fonctionnement d'un cadran électrique tel que ceux que l'on a à installer dans les rues d'une grande ville.

Un tel cadran, — et ici nous entendons parler d'un récepteur quelconque à quelque catégorie qu'il appartienne, — un tel cadran marche en plein air, c'est-à-dire qu'il est exposé aux changements brusques de température et à l'influence de l'électricité atmosphérique. En outre, il n'est point seul de son espèce: il fait partie d'un réseau d'horloges semblables à lui, qui toutes doivent travailler dans les meilleures conditions possibles. De là résultent les règles suivantes, qui sont fondamentales:

1° Éviter l'emploi d'organes trop sensibles aux variations de température; parmi ceux-ci, il faut ranger sans hésiter les ressorts antagonistes des armatures, dont la tension varie considérablement avec la température et l'état plus ou moins humide de l'air.

2° S'arranger de façon que les courants d'électricité atmosphé-

rique qui suivent les fils conducteurs ne puissent en aucun cas occasionner une perturbation permanente.

3^o Employer des électro-aimants qui, pour une petite quantité de courant, puissent accomplir un travail considérable tout en conservant des dimensions convenables; cela afin de pouvoir, avec une seule et même pile de force modérée, actionner sûrement un grand nombre de cadrans (les interrupteurs de l'horlogemère ne supportent pas longtemps les courants relativement intenses que nécessite un réseau constitué par des récepteurs avec électro-aimants ordinaires à armatures plates).

En examinant sérieusement les diverses conditions que nous venons d'énumérer, on arrive à la conclusion nécessaire que les électro-aimants à armatures polarisées sont seuls capables d'y satisfaire. En effet, avec ceux-ci, point de ressort antagoniste : les courants alternativement renversés, envoyés par l'horlogemère, produisent à eux seuls les deux mouvements (aller et retour) de l'armature; l'électricité atmosphérique pourra bien provoquer prématurément (c'est-à-dire avant l'émission régulière du courant galvanique) l'un ou l'autre de ces mouvements, mais jamais les deux, en sorte qu'en fin de compte, une *avance* de l'aiguille ne sera jamais possible. Enfin, la quantité de courant nécessaire au bon fonctionnement de ces sortes d'électro-aimants peut être trois, quatre, et même cinq et six fois plus faible que celle que réclament les électro-aimants à armatures plates.

Le *mode d'intercalation* des récepteurs ou, autrement dit, la disposition du réseau des *fils conducteurs* du courant, doit, dans une installation bien faite, être telle que tous les récepteurs soient placés sur des dériva-
tions. Si, par exemple, *a* est la pile (fig. 52), *b* l'interrupteur, *c* la ligne, les électro-aimants *d*, *d'*, *d''*... des récepteurs seront branchés sur des dériva-
tions *e*, *e'*, *e''*... toutes reliées à la terre *f*, et le courant parcourra en même temps, *parallèlement*, tous ces électro-

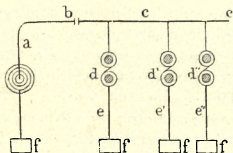


Fig. 52

aimants. Dans l'autre système d'intercalation, appelé système *successif* ou *en tension*, les électro-aimants des récepteurs *d*, *d'*, *d''* (fig. 53) sont placés les uns à la suite des autres sur le même fil, en sorte que le courant de la pile *a* les parcourt *successivement*.

Voici les avantages du premier système sur le second :

1° Dans le système parallèle, on pourra facilement enlever

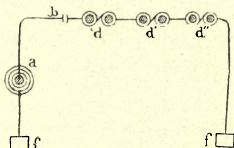


Fig. 53

un ou plusieurs cadrans sans troubler la marche de ceux qui doivent continuer à fonctionner. Tel n'est pas le cas dans le système *successif*, où tous les récepteurs sont solidaires les uns des autres, au point que tous sont arrêtés si l'un d'eux, soit accidentelle-

ment, soit intentionnellement, est exclu du circuit.

2° Le nombre d'éléments de pile nécessaire pour actionner une vingtaine de cadrans intercalés parallèlement sera à peine suffisant pour faire marcher deux ou trois cadrans placés *successivement*. Pour expliquer cela, il suffit de se rappeler que plus le nombre des dérivations augmente, plus aussi diminue la résistance de l'ensemble du réseau (voir *Notions préliminaires* : lois des courants); au contraire, la résistance d'un circuit, dans lequel les électro-aimants sont intercalés les uns à la suite des autres, augmente proportionnellement à leur nombre.

Ce qui précède ne signifie pas que la dépense de courant soit plus grande dans le système *successif*; cette dépense est, toutes choses égales d'ailleurs, la même dans les deux systèmes. L'infériorité du système *successif* gît, suivant nous, dans la nécessité d'employer un beaucoup plus grand nombre d'éléments, ce qui augmente les difficultés de surveillance de la pile et les chances d'interruptions du circuit.

3° Enfin, dans un réseau déjà existant, l'addition de nouveaux cadrans se fera beaucoup plus facilement avec le système parallèle qu'avec l'autre, puisqu'on n'aura qu'à faire aux points voulus de nouvelles dérivations.

Toutefois il est nécessaire, dans un réseau d'horloges placées parallèlement, d'équilibrer les dériviations de telle sorte que chaque cadran reçoive la même quantité de courant. Quand les distances entre les cadrans sont considérables, les résistances des dériviations peuvent être très différentes; il faut alors établir dans les récepteurs les plus rapprochés de la pile des *résistances compensatrices*. Supposons, par exemple, qu'un fil conducteur *ab* (fig. 54) soit chargé d'amener le courant de la pile *c* aux récepteurs *d*, *d'*, *d''*... Soient 500, 1200, 900, 600 unités, les résistances

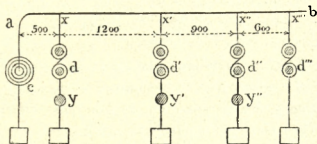


Fig. 54

des portions du conducteur *ab* situées entre les diverses dériviations (ces résistances sont, comme nous savons, proportionnelles à la longueur de ces portions). Soit d'autre part 300 unités, la résistance de chaque récepteur. Considérons le courant arrivé au point *x'*; pour que le récepteur *d'''* reçoive la même portion de courant que le récepteur *d''*, il faut que la dérivation *x'' d'''* ait la même résistance que la dérivation *x'' d''*; mais la dérivation *x'' d'''* a une résistance de $600 + 300 = 900$ unités, tandis que *x'' d''* = 300 unités; il faudra donc intercaler en *x'' d''* une résistance compensatrice *y''* de 600 unités.

Pour connaître les résistances compensatrices à placer aux autres dériviations, nous poursuivons comme suit le raisonnement :

La résistance combinée des deux dériviations *x' d''* et *x' d'''* est $\frac{900}{2} = 450$, puisque celles-ci sont égales toutes deux à 900 (voir

Partie théorique). La résistance totale de la partie du réseau placée à droite du point *x'* sera $450 + 900 = 1350$ unités; mais la portion du courant à envoyer par les dériviations *x'' d''* et *x'' d'''* doit être double de celle à envoyer par la dérivation *x' d'*, puisque,

dans les premières, il y a deux horloges à faire marcher, tandis que, dans la seconde, il n'y en a qu'une; autrement dit la résistance de la dérivation $x'd'$ doit être double de celle des deux dérivation $x'd''$ et $x'd'''$; cette dernière étant de 1350 unités, la première doit être de 2700 unités; on aura donc comme résistance compensatrice à placer en $x'd'$, $y' = 2700 - 300 = 2400$ unités.

La résistance combinée des trois dérivation $x'd'$, $x'd''$ et $x'd'''$ est maintenant, d'après une loi que nous avons donnée $\left(\frac{ab}{a+b}\right)$:

$$\frac{2700 \times 1350}{2700 + 1350} = 900.$$

La résistance de toute la portion du réseau située à droite de x sera donc de $900 + 1200 = 2100$ unités. Cette portion contenant trois récepteurs, devra recevoir trois fois plus de courant ou, ce qui revient au même, avoir trois fois moins de résistance que la dérivation xd qui n'a qu'une horloge. Cette dernière devra donc être de $2100 \times 3 = 6300$ unités. La résistance compensatrice de la dérivation xd sera donc :

$$y = 6300 - 300 = 6000 \text{ unités.}$$

Et ainsi de suite pour les dérivation suivantes.

Remarquons en passant que, dans le calcul précédent, la résistance de la terre, qui sert ici de fil de retour commun à toutes les dérivation, a été considérée comme nulle, ce qui est à peu près conforme à la réalité.

En s'inspirant de l'exemple qui vient d'être donné, on pourra facilement calculer les résistances compensatrices d'un réseau d'horloges en dérivation, quelle que soit d'ailleurs sa complication.

Si le fil employé pour les lignes du réseau a une grande conductibilité, si la résistance des électro-aimants des récepteurs est choisie assez grande, si la distance qui sépare de l'horlogemère le cadran le plus éloigné n'est pas très considérable, si, enfin, les récepteurs sont assez sensibles pour fonctionner avec des intensités de courant légèrement différentes, on peut négliger complètement les résistances compensatrices. Les conditions ci-dessus sont remplies avec des compteurs Hipp, lorsqu'on adopte

pour les lignes du fil en bronze silicieux de 2 millimètres de diamètre, et, pour chaque récepteur, une résistance intérieure de 150 ohms, et lorsque la distance maximum des récepteurs au régulateur central ne dépasse pas 3 kilomètres. Les différences d'intensité sont alors au maximum de 4 à 5 milli-ampères ou millièmes d'ampère (voir *Notions préliminaires*); elles n'ont sur la marche du système aucune mauvaise influence, puisqu'un compteur Hipp peut supporter des variations de courant allant jusqu'à 18 milli-ampères.

L'*interrupteur* de l'horloge-mère constitue l'un des organes les plus délicats d'un système d'horloges électriques. C'est de lui en effet que dépend la régularité de succession des émissions du courant; si, par suite du mauvais état de ses surfaces, il y a des *ratés*, les compteurs électro-chronométriques cessent d'être d'accord avec l'horloge-mère.

La seule condition à laquelle ait à satisfaire un interrupteur, est celle d'offrir au courant un passage sans obstacle ou mieux sans résistance. Pour cela, il suffit que les surfaces de contact soient métalliquement pures, c'est-à-dire exemptes de tout dépôt de matières non conductrices du courant.

Or, par leur fonctionnement même, ces surfaces tendent à se détériorer. Les étincelles de l'extra-courant (voir *Notions préliminaires*: effets des courants) produisent à la longue une couche d'oxyde peu susceptible de conduire le courant; d'autre part, la poussière peut facilement empêcher de bons contacts.

On a proposé divers moyens pour éviter l'oxydation produite par les étincelles de l'extra-courant. L'un des plus simples consiste à supprimer ces étincelles en offrant à l'extra-courant un circuit fermé d'où l'interrupteur est exclu, et où il peut s'anéantir sans produire d'effets nuisibles; c'est le système adopté par M. Hipp dans tous ses interrupteurs (nous en avons déjà dit un mot à propos de ses pendules électro-magnétiques). Il fournit de très bons résultats; la figure 55 en donne le principe. L'interrupteur *a* est à double

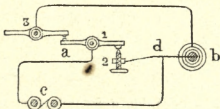


Fig. 55

contact; l'un, 1-2, est fermé tant que l'autre, 1-3, qui constitue l'interrupteur proprement dit, n'est pas en fonction; mais à peine 1-3 est-il fermé que 1-2 s'ouvre, et le courant de la pile *b* circule dans l'électro-aimant *c* de l'horloge. Le circuit fermé où s'anéantit l'extra-courant est *cd21c*; on peut, par une disposition particulière des organes mécaniques, s'arranger de manière que le moment pendant lequel les deux contacts 1-2 et 1-3 sont fermés ensemble, ait une durée suffisante: l'expérience a d'ailleurs démontré que cette durée devait être tout au plus d'une demi à un dixième de seconde.

Les surfaces de contact sont ordinairement d'or ou de platine, métaux peu oxydables. Pour obtenir des contacts plus intimes, s'opérant pour ainsi dire à travers la masse même des substances métalliques dont est fait l'interrupteur, on a proposé l'emploi du mercure sous forme de deux nappes qui, en temps ordinaire, sont séparées l'une de l'autre; mais qui, au moment du contact, se mêlent l'une à l'autre. Les inventeurs de cette disposition ingénieuse, MM. *Leclanché* et *Napoli*, se servent d'un petit barillet (fig. 56) dont l'intérieur, hermétiquement fermé à l'air extérieur,

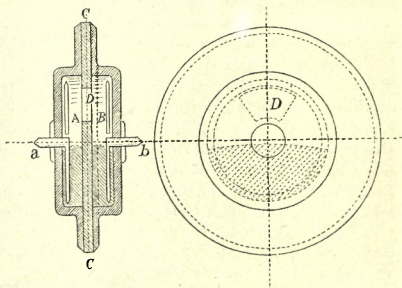


Fig. 56

est séparé en deux compartiments A et B par une cloison verticale CC. Celle-ci est percée à sa partie supérieure d'une

ouverture *D*; le mercure occupe à peu près la moitié de la hauteur de ces deux compartiments, et chaque nappe mercurielle est unie par les deux tourillons *a* et *b* aux fils que l'interrupteur a à joindre ou à disjoindre. L'axe du barillet est d'ailleurs mis en relation avec un mouvement d'horlogerie spécial que l'horlogemère déclanche toutes les minutes ou toutes les demi-minutes. A chaque révolution du barillet, les nappes mercurielles se mélangent intimement par l'ouverture *D*, et produisent ainsi un contact excellent. Afin d'éviter toute chance d'oxydation du mercure, on enferme avec lui, dans l'intérieur du barillet, un gaz réducteur.

Une disposition analogue a été appliquée par M. *Liais* à l'interrupteur de sa pendule électro-magnétique; ici il n'y a qu'une nappe mercurielle fixe et placée sous vase clos en présence d'un gaz réducteur; une pointe métallique opère les contacts sans mettre l'air extérieur en communication avec l'espace clos.

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. 57) juxtaposées sur un seul couteau platiné *b* qui leur sert d'axe commun; un deuxième couteau *c* forme la seconde partie de l'interrupteur. Les résultats obtenus avec ce dispositif dépassent tout ce qui a été vu jusqu'ici. Un interrupteur semblable fonctionne depuis plus de neuf ans à l'Observatoire de Neuchâtel, fournissant un contact par deux secondes; cela représente plus de 140 millions d'émissions de courant; à l'heure qu'il est, et malgré un travail semblable, les surfaces de contact sont restées nettes et brillantes. Un tel succès doit, selon nous, être attribué au fait suivant: le plan des trois lamelles *aa'a''* n'est pas si rigoureusement parallèle au couteau *c*, que celui-ci les touche toutes en même temps; il commencera par entrer en contact avec l'une d'elles, la

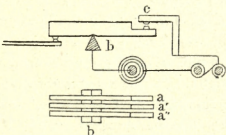


Fig. 57

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.

Dans un interrupteur bien combiné, il est nécessaire que l'on puisse commodément nettoyer les surfaces de contact sans interrompre la marche des cadrans secondaires; ceci est surtout de rigueur partout où l'on a négligé de se prémunir efficacement contre l'étincelle de l'extra-courant et la poussière.

Il ne suffit pas que l'interrupteur fonctionne bien, électriquement parlant, il faut encore que son jeu mécanique soit sans reproche. Combien d'inventeurs ont négligé ce point essentiel! Un régulateur à poids ou à ressort est donné; on veut en faire l'horlogemère d'un système de cadrans secondaires; rien de plus simple en apparence: une goupille est adaptée à la roue d'échappement, un ressort à la platine, et voilà l'interrupteur qui, fermé à chaque minute, est chargé de fournir les émissions du courant. Au bout de quelques jours de fonctionnement, on s'aperçoit que le régulateur, dont la marche était auparavant irréprochable, n'est plus susceptible d'être réglé; il avance ou retarde sans cause connue; même il s'arrête quelquefois. Quant aux contacts, ils sont des plus capricieux; bref, c'est un insuccès complet. C'est le moment alors de bien se pénétrer de l'axiome suivant:

Pour avoir un appareil à contacts agissant sûrement et n'ayant en outre aucune mauvaise influence sur la marche de l'horloge-mère, il faut:

Ou bien l'adapter à un mouvement d'horlogerie indépendant de l'horloge-mère proprement dite et déclenché aux moments voulus par cette dernière;

Ou bien n'employer comme horloges-mères que des pendules électro-magnétiques.

En dehors de ces deux alternatives, qui, toutes deux d'ailleurs, peuvent fournir de bons résultats, il n'y a pas de succès durable possible.

Nous étudierons dans un prochain chapitre quelques dispositions d'horloges-mères.

COMPTEURS ÉLECTRO-CHRONOMÉTRIQUES

Sous sa forme la plus simple, le compteur électro-chronométrique consiste en un électro-aimant *a* (fig. 58), dont l'armature plate *b* est fixée à un levier *c* articulé en *d*. Sur ce levier, un

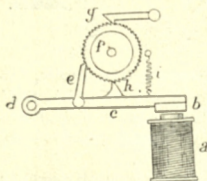


Fig. 58

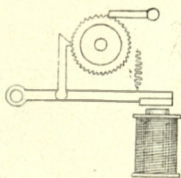


Fig. 59

cliquet d'impulsion *e* réagit sur un rochet *f* et le fait avancer d'une dent à chaque oscillation double de l'armature *b*; *g* est le cliquet de retient, et *h* est un butoir d'arrêt empêchant qu'il n'y ait plus d'une dent du rochet qui échappe. Tel qu'il est représenté sur la figure, le cliquet d'impulsion *e* fait avancer le rochet sous l'influence du ressort antagoniste *i*; l'attraction de l'armature détermine, par contre, le placement du cliquet derrière la dent à faire avancer. On conçoit facilement qu'un effet inverse puisse se produire si l'on donne au cliquet d'impulsion la forme en crochet de la figure 59; dans ce cas, le rochet est poussé d'une dent au moment de l'attraction de l'armature, et le rappel de celle-ci par le ressort antagoniste provoque le placement du cliquet derrière la dent à faire avancer.

Le rochet, qui a ordinairement 60 dents, porte sur son axe, prolongé en avant du cadran, l'aiguille des minutes ou des secondes, suivant que l'horloge-mère expédie toutes les minutes ou toutes les secondes les courants chargés d'actionner le compteur. Une minuterie ordinaire transmet, en le transformant convenablement, le mouvement du rochet à l'aiguille des heures.

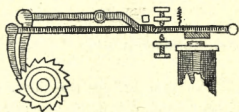


Fig. 60

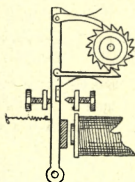


Fig. 61

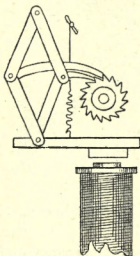


Fig. 62

Les compteurs de MM. Garnier, Froment, Robert-Houdin, Colin, Liais, Mildé, Fournier, Bain, sont, sauf de légères variantes, semblables en principe à celui des figures 58 ou 59.

Compteurs à doubles cliquets d'impulsion.

— D'autres inventeurs, voulant utiliser les deux mouvements (aller et retour) de l'armature pour faire avancer le rochet, ont fait usage de deux cliquets d'impulsion. Les figures 60, 61 & 62 donnent trois types de ce genre. MM. Nollet, Breguet, Detouche, ont appliqué ce système à leurs horloges-lanternes.

Compteurs à armatures polarisées. — Nous avons déjà indiqué la grande supériorité que possèdent les compteurs à courants alternatifs sur ceux dont nous venons de parler. Stöhrer a le premier appliqué le principe des courants renversés aux horloges électriques. La figure 63 représente le mécanisme adopté par lui en 1849 à Leipzig. L'armature *a*, polarisée par un aimant per-

manent *b*, peut osciller autour de l'axe *c* entre les jambes de l'électro-aimant *d*. Au repos, c'est-à-dire lorsqu'aucun courant ne circule dans les bobines de *d*, le magnétisme permanent, transmis par l'aimant à l'armature, retient celle-ci contre l'une ou l'autre des jambes de l'électro-aimant, celle qui est le plus voisine de son extrémité. Mais, au moment où cet électro-aimant devient actif sous l'influence du courant, il se forme en *n* et en *s* deux pôles de noms contraires qui, agissant l'un par attraction, l'autre par répulsion sur l'armature polarisée, forcent celle-ci à parcourir, autour de son axe, l'arc de cercle compris entre les jambes *n* et *s*. Ces mouvements de va-et-vient

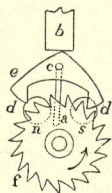


Fig. 63

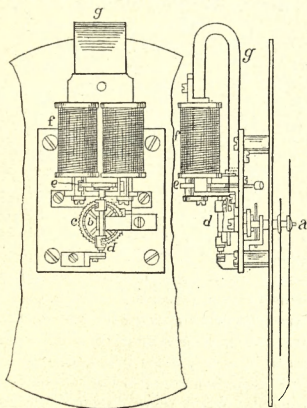


Fig. 64

de l'armature sont transmis par l'intermédiaire d'une ancre *e* à une roue dentée *f*, et ensuite aux aiguilles de l'horloge.

Dans le compteur de M. Hipp, représenté en vue de face et vue de côté par la figure 64, l'axe *a* de l'aiguille des minutes (ou des secondes) porte une roue d'échappement dentée sur le côté en *b* et sur la périphérie *c*. Les dents *b* sont soumises à l'impulsion des deux palettes d'une verge *d*, et constituent avec celles-ci un véritable échappement à roue de rencontre. L'axe de cette verge, qui est vertical, porte l'armature *e*. Celle-ci, sous l'influence des courants alternatifs qui sont envoyés par l'horloge-mère dans l'électro-aimant *f*, peut osciller entre les deux pôles de ce dernier; à chacune de ces oscillations, dont l'amplitude est de 60 degrés d'arc, l'une ou l'autre des palettes de la verge fait avancer d'une demi-dent la roue d'échappement *b*; celle-ci ayant trente dents, fait donc un tour en une minute ou en une heure, suivant que les émissions du courant ont lieu toutes les secondes ou toutes les minutes. L'armature *e*, dont la figure 65 donne la forme, est polari-

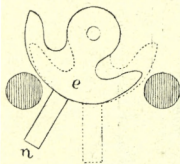


Fig. 65

sée par l'aimant permanent *g*; ce dernier influence par l'un de ses pôles l'armature, et par l'autre les noyaux de l'électro-aimant *f*. Si donc l'extrémité de l'armature est un pôle nord *n*, les deux extrémités des noyaux de l'électro-aimant seront des pôles sud, et elles attireront *toutes deux* l'armature *e* qui restera appliquée contre le noyau le plus voisin. Cela n'a lieu qu'autant qu'aucun courant ne circule

dans les bobines de *f*. Mais, un courant venant à exciter l'électro-aimant *f*, celui-ci deviendra pour son compte, et indépendamment de l'aimant permanent *g*, un aimant temporaire ayant aux extrémités de ses noyaux deux pôles de nom contraire; le pôle qui a le même nom que celui de l'armature *e* la repoussera, l'autre l'attirera, et si la position initiale de cette armature est convenable, un mouvement aura lieu soit dans un sens, soit dans l'autre. Lorsque ce courant cesse d'animer l'électro-aimant *f*, celui-ci retombe sous l'influence unique de l'aimant permanent, et l'armature reste appliquée contre le noyau, où elle demeure jusqu'à ce qu'une nouvelle émission de courant, de sens contraire

à la précédente, viennent la placer contre l'autre noyau. Un cliquet de retient, travaillant sur la périphérie dentée de la roue d'échappement, empêche un recul de cette roue. Les palettes de la verge servent en même temps de leviers d'impulsion et de butoirs d'arrêt. Il n'y a point de ressort antagoniste.

Le mécanisme que M. *Breguet* emploie pour actionner son horloge-lanterne nécessite également des courants alternativement renversés. L'armature n'est pas polarisée par un aimant placé dans son voisinage; elle est elle-même un aimant, et elle oscille entre les pôles de deux électro-aimants *E E* (fig. 66) qui sont placés en face l'un de l'autre, et dont l'enroulement est

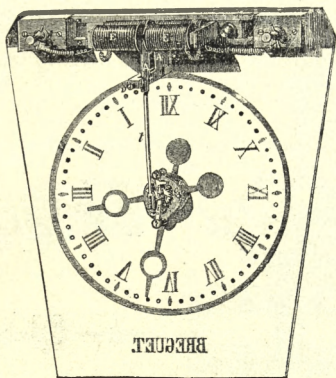


Fig. 66

tel que les pôles en regard soient de nom contraire. Suivant la direction du courant qui parcourt ces deux électro-aimants en même temps, l'armature *A A* est attirée par l'un, repoussée par l'autre, et le mouvement alternatif qui en résulte est transmis par elle à un levier réagissant sur des cliquets d'impulsion, lesquels

font avancer à leur tour la roue d'échappement, et par suite la minuterie et les aiguilles de l'horloge-lanterne.

La figure 67 représente le compteur de M. *Thomas*, dans lequel l'armature polarisée *a* fait à chaque émission du courant une demi-révolution toujours dans le même sens, ce qui permet de supprimer entièrement tout mécanisme d'échappement. Les pôles de deux électro-aimants droits *EE* sont disposés de façon à réagir alternativement sur les deux moitiés de l'armature *a*, l'un par attraction, l'autre par répulsion; les courants renversés changent à chaque émission la nature de ces pôles. L'axe de l'armature prolongé porte une vis sans fin *s*₁, qui transmet le mouvement à la minuterie *r*.

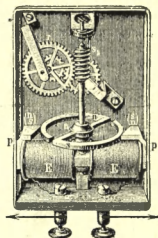


Fig. 67

Dans le compteur de M. *Grau*, représenté figures 68, 69, 70

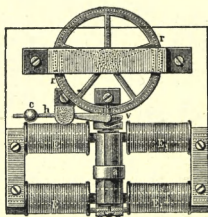


Fig. 68

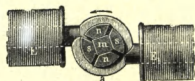


Fig. 69



Fig. 70

& 71, l'armature polarisée *a* consiste en quatre barreaux aimantés *n*, *s*, disposés autour d'une pièce centrale carrée *m* en laiton, et formant avec cette dernière un corps cylindrique. Ces barreaux, qui sont séparés les uns des autres par un petit intervalle, sont placés de façon à présenter alternativement des pôles nord et sud aux noyaux des électro-aimants *E*, *E*₁. Ces derniers ne sont pas

exactement en face l'un de l'autre, comme on le voit sur la figure 69, et leur fil est enroulé de manière que le courant développe des pôles de même nom chez les deux noyaux qui se font vis-à-vis. Il résulte de là que les pôles sud des barreaux aimantés qui se trouvent à la partie supérieure de l'armature seront attirés par les noyaux supérieurs des électro-aimants (si nous supposons, par exemple, que ces noyaux deviennent, au passage du courant, des pôles nord), et que les pôles nord, leurs voisins, seront repoussés par eux. Les noyaux inférieurs agissent d'une manière analogue sur les extrémités inférieures des barreaux aimantés. Tous ces effets ajoutés impriment à l'armature un mouvement de rotation dans le sens de la flèche; à chaque émission des courants renversés correspond un quart de tour de l'armature. Le pignon *t* et la roue à couronne *r* transmettent ce mouvement à la minuterie et aux aiguilles *z*, *z*₁. Le levier *h*, muni d'un contrepoids *c* et d'une goupille *s*₁, constitue, avec la rainure en hélice creusée à la surface d'un canon *v* calé sur l'axe de l'armature, un encliquetage qui empêche cet axe ou de tourner de plus d'un quart de tour, ou de reculer.

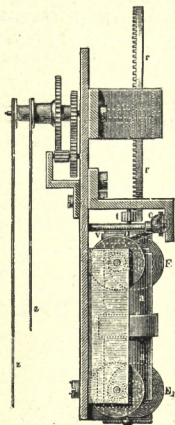


Fig. 71

Le compteur de M. *Menger* repose, comme celui de Breguet, sur l'emploi d'une armature plate polarisée oscillant entre les pôles de deux électro-aimants, et agissant par l'intermédiaire de cliquets d'impulsion sur une roue d'échappement.

HORLOGES SECONDAIRES A DÉCLANCHEMENT ÉLECTRIQUE

Lorsque les dimensions des horloges secondaires dépassent certaines limites, le courant électrique venant de l'horloge-mère n'a plus à lui seul la force de les actionner directement. On emploie alors un mouvement d'horlogerie dont le moteur est un poids semblable à ceux des horloges de clocher. Une détente électrique, dont l'électro-aimant est en relation avec l'horloge-mère, déclenche à intervalles réguliers les rouages. Ceux-ci font parcourir aux aiguilles une division du cadran, puis s'arrêtent automatiquement. Le poids doit être remonté à périodes fixes. La figure 72 représente une horloge de ce genre, munie d'une détente électrique à armature polarisée.

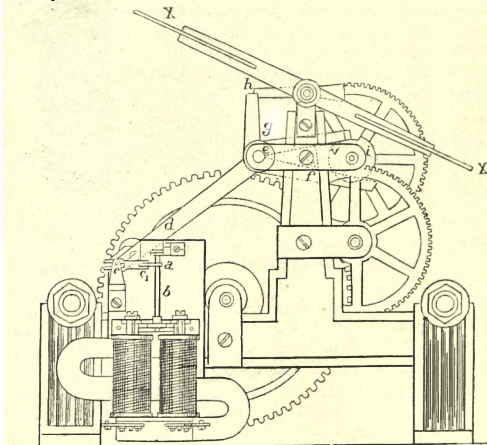


Fig. 72

Sur l'axe b de cette détente se trouve un disque demi-circulaire a , sur lequel repose l'un ou l'autre des bras articulés d'un levier double c mobile autour d'un axe c . Ce même levier retient, par une saillie de forme convenable, un bras d mobile autour de l'axe e ; celui-ci porte un second bras f , sur lequel repose en f , et par l'intermédiaire d'une goupille, un levier g en forme d'équerre qui tourne à frottement doux sur l'axe e , et dont la branche verticale retient le doigt h calé sur l'axe du volant XX .

Lorsqu'un courant excite l'électro-aimant de la détente, son armature se déplace d'un pôle à l'autre et fait tourner l'axe b et avec lui le disque demi-circulaire a ; celui-ci laisse tomber le levier double et le bras d ; le levier en équerre, poussé par le bras f , laisse échapper le doigt h ; le volant, et avec lui les rouages du mouvement d'horlogerie, entrent en rotation et font avancer les aiguilles de la quantité voulue. La chute du bras d a fait sortir, d'une entaille pratiquée dans le disque i , l'extrémité repliée de la branche horizontale du levier g , qui glisse alors sur la périphérie du disque, et est ainsi empêché de revenir à la position où il arrête le doigt h . Une goupille v , placée latéralement sur ce même disque i , vient, au bout d'un certain temps, presser sur l'extrémité du bras f , et recrocher ainsi le bras d sur la saillie du levier double, et ce dernier (par l'intermédiaire de l'autre de ses bras) sur le disque demi-circulaire a .

Après un tour entier du disque i , l'entaille se présente devant l'extrémité du levier g ; celui-ci y tombe, et sa branche verticale arrête le doigt du volant.

Pour une nouvelle émission du courant, les mêmes effets se répètent, et les aiguilles, animées de mouvements intermittents, parcourent successivement toutes les divisions du cadran.

Un appareil, tel que celui qui vient d'être décrit, peut être mis en relation mécanique avec un mouvement de sonnerie à poids frappant les heures et les quarts d'heure.

La plus grande horloge de clocher du continent, celle de de la tour Saint-Pierre à Zurich, a été munie par M. Hipp d'une détente analogue à celle de la figure 72; intercalée dans le réseau des horloges électriques de la ville, elle marche avec la même quantité de courant que celle qui suffit aux petits compteurs

électro-chronométriques de 0^m.25 de diamètre. Ses quatre paires d'aiguilles pèsent ensemble 14 quintaux, et le diamètre de chacun de ses cadrans est de 10 mètres.

On peut naturellement employer, pour produire le déclanchement d'horloges à poids, des électro-aimants à armatures plates; c'est ce qu'ont fait MM. Gondolo, Kaiser et Laguerenne. Dans les horloges de clocher construites par ce dernier, c'est le courant électrique qui remonte le poids moteur, et cette action se produit pendant les soixante secondes qui séparent deux déclanchements successifs, au moyen d'un électro-aimant spécial.

REMISE A L'HEURE

Dans les systèmes dits de remise à l'heure, le courant électrique envoyé par l'horloge-mère n'agit qu'à de grands intervalles pour *remettre à l'heure* les horloges secondaires; celles-ci conservent leur moteur spécial ainsi que leur balancier régulateur (voir chap. I^{er}).

Le courant n'agissant alors que comme force correctrice et non plus comme moteur, l'indépendance des cadrans secondaires vis-à-vis de l'horloge-mère est beaucoup plus grande que dans les systèmes où l'on emploie des compteurs électro-chronométriques. C'est là certainement un avantage; en effet, qu'une ou plusieurs émissions du courant correcteur viennent à faire défaut, il n'en résulte pas un arrêt, ni même une très forte variation des cadrans secondaires; ceux-ci continuent à indiquer l'heure, il est vrai, avec une moindre exactitude. D'un autre côté, l'inconvénient d'avoir à remonter périodiquement leur poids ou leur ressort, et aussi une plus grande complication des organes mécaniques, sont de nature à contre-balancer l'avantage ci-dessus.

Nous allons rapidement énumérer les différentes méthodes proposées pour atteindre la réalisation du principe de remise à l'heure.

Les organes électro-magnétiques soumis à l'action du courant correcteur peuvent réagir soit sur les aiguilles de l'horloge à régler, soit sur son échappement, soit sur son balancier.

Voici comment Breguet effectue la correction par les aiguilles: l'axe de l'aiguille des minutes est, derrière le cadran, pourvu d'un bras *X* (fig. 73) qui tourne avec lui. Ce bras peut être saisi par les goupilles de deux roues *u*, *u*₁, engrenant l'une avec l'autre et entrant en mouvement lorsque le rouage indépendant (Breguet emploie le mécanisme de la sonnerie) qui les commande est déclenché par l'électro-aimant correcteur. Cette opération a pour résultat d'amener le bras *X*, et par suite l'aiguille des minutes, exactement sur la partie du cadran correspondant à l'heure à laquelle se produit l'émission du courant venant de l'horloge-mère. La figure 74 indique la disposition de l'électro-aimant correcteur *mm*₁, et celle des leviers *t*, *i*, *a*, chargés d'arrêter ou de libérer le dernier mobile *r* du rouage actionnant les roues correctrices *u* et *u*₁.

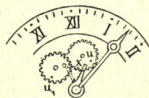


Fig. 73

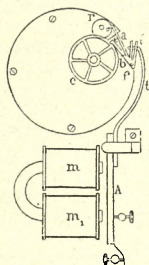


Fig. 74

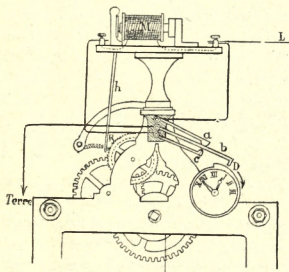


Fig. 75

Dans l'un des systèmes de M. Colin-Wagner, l'horloge à régler a la tendance d'avancer sur l'horloge-mère. Sur l'axe de l'aiguille des minutes est calé un limaçon *D* (fig. 75), sur la périphérie duquel frotte continuellement le levier *b*; lorsque celui-ci est sur la partie saillante du limaçon, il est en contact avec un second levier *a*,

lante du limaçon, il est en contact avec un second levier *a*,

en sorte qu'un courant venant de l'horloge-mère par la ligne L passe directement dans la terre par $L a b$, sans entrer dans l'électro-aimant M . Mais au moment où le levier b tombe dans l'entaille du limaçon, c'est-à-dire au moment où l'aiguille des minutes de l'horloge à régler atteint le midi du cadran, il quitte le levier a et entre en contact avec le levier c . Le courant venant de L est alors obligé de passer par l'électro-aimant M en suivant le chemin $L M c b$ Terre. M devenant actif attire son armature, et produit, par l'intermédiaire du long levier h , l'arrêt de la roue d'échappement R . Le pendule de l'horloge (non représenté dans la figure) oscille *à vide* (c'est-à-dire sans que la roue R échappe) jusqu'à ce que le courant de la ligne ait été interrompu par l'horloge régulatrice. Lors de cette interruption, qui a lieu au moment où l'aiguille de cette horloge arrive à son tour au midi du cadran, le levier h rend sa liberté à la roue R , et le mouvement des aiguilles de l'horloge réglée recommence comme auparavant.

Pour éviter l'inconvénient de l'avance à donner aux horloges réglées sur l'horloge régulatrice, M. Colin a imaginé un système de remise à l'heure pour les retards, lequel, combiné avec celui que nous venons de décrire, permet de corriger les écarts dans les deux sens. Il arrive à ce résultat en déplaçant longitudinalement, au moyen d'un électro-aimant spécial, l'axe de la fourchette d'échappement, opération qui a pour effet de laisser défilier la roue d'échappement jusqu'à ce qu'une des chevilles de cette roue, plus longue que les autres, vienne buter contre l'une des palettes de la fourchette ainsi écartée, et amène l'aiguille au midi du cadran; dès lors, cette aiguille se trouve arrêtée jusqu'à ce que l'horloge régulatrice, en coupant le courant correcteur, ait permis à la fourchette de reprendre sa position normale.

MM. *Fenon* et *Garnier* obtiennent la remise à l'heure, qu'il y ait avance ou qu'il y ait retard de l'horloge réglée, en faisant la roue d'échappement mobile sur son axe dans le sens longitudinal; l'électro-aimant correcteur, en devenant actif, dégage cette roue de l'ancre, et la laisse défilier jusqu'à ce qu'elle vienne buter par l'intermédiaire d'une goupille sur un arrêt dont la position correspond à celle où l'aiguille des minutes est au midi du cadran. La roue d'échappement conserve cette position jusqu'à ce que l'horloge

régulatrice, en coupant le courant correcteur, la rende à l'action de l'ancre. La fermeture du courant se produit toujours trente secondes avant l'heure, en sorte que si l'horloge à régler est en avance ou en retard de dix secondes par exemple, le dégagement de la roue d'échappement, et par suite la remise à l'heure, se manifestera vingt ou quarante secondes avant l'heure, mais l'aiguille ne reprendra sa marche qu'au moment où l'aiguille des minutes de l'horloge régulatrice aura dépassé l'heure (voir le journal la *Lumière électrique* du 1^{er} mai 1880).

Parmi les systèmes de remise à l'heure chez lesquels le courant correcteur agit directement sur le pendule, mentionnons celui de M. Colin-Wagner, où le pendule, réglé sur l'avance, est arrêté par son extrémité au moyen d'un électro-aimant, jusqu'à ce que l'horloge régulatrice, en coupant le courant, le laisse repartir à l'heure juste. Ce système a été appliqué en 1880, à Dresde, par le Dr Uldricht, qui l'a emprunté de M. Colin-Wagner. Mentionnons encore les dispositifs de MM. Tresca et Redier, dans lesquels un poids curseur pouvant glisser le long de la tige du pendule de l'horloge à régler est déplacé par deux rouages spéciaux, déclanchés aux moments voulus par deux électro-aimants en relation avec l'horloge régulatrice.

D'autres systèmes de remise à l'heure, plus ou moins parents de ceux que nous venons de passer en revue, et dans le détail desquels nous ne pouvons entrer, ont été combinés par MM. Bain, Lasseau en France, Barraud et Lund en Angleterre, Siemens et Halske en Allemagne, Hipp en Suisse. On en trouvera la description dans les ouvrages déjà cités de MM. Du Moncel, Tobler et Merling.

SYNCHRONISATION DES PENDULES

Lorsque les émissions du courant correcteur envoyées par l'horloge-mère se produisent à intervalles rapprochés et réagissent directement sur les pendules des horloges secondaires, ceux-ci, influencés à chaque seconde ou à chaque minute, battent synchroniquement avec le pendule de l'horloge-mère. Tel est le principe

qui est à la base des systèmes proposés par M. Foucault en 1847, par M. Vérité en 1863, par M. Jone de Glasgow en 1865, et appliqués avec succès par M. Briquet à Paris, et par d'autres constructeurs encore dans d'autres villes (notamment à Berlin).

Voici en peu de mots la disposition très simple des différents organes d'un tel système :

Le pendule *A* de l'horloge directrice (fig. 76) est pourvu d'un interrupteur *I*, qui ferme à chaque oscillation le courant de la pile *P* sur des électro-aimants *b, b'...* placés au-dessous des pendules *B, B',...* des horloges secondaires. Ces électro-aimants, ren-

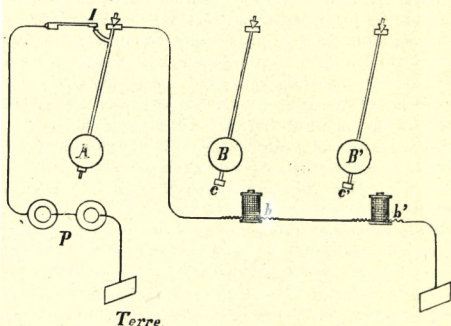


Fig. 76

dues actifs pendant tout le temps que dure l'émission du courant correcteur, influencent les armatures *c, c'...* adaptées à l'extrémité inférieure des pendules *B, B'...* Si la durée de l'émission est convenablement réglée, tous les pendules sont rendus solidaires de l'horloge-mère, et battent synchroniquement avec lui.

M. Vérité emploie pour chaque horloge secondaire un seul électro-aimant. Dans le système de M. Breguet, par contre, deux électro-aimants agissent alternativement sur l'armature de chaque pendule à régler, et cela au moment où il atteint ses écarts

extrêmes. Dans les deux cas, le rôle du courant correcteur est de donner une impulsion accélératrice au balancier de l'horloge à régler, si ses battements sont un peu en retard sur ceux du balancier de l'horloge-mère, ou, au contraire, de le retenir si ses battements sont en avance.

Les systèmes de synchronisation ont, sur ceux de remise à l'heure, le grand avantage de distribuer l'heure avec une très grande précision. En effet, les différences pourront tout au plus être d'une petite fraction de seconde. Par contre, ils ont l'inconvénient de mettre à contribution, dans une grande mesure, la pile fournissant le courant correcteur, en sorte que celle-ci doit en tous cas être de la catégorie des piles dites constantes ou impossibles (voir *Notions préliminaires*).

L'auteur de ces lignes a cherché s'il n'était pas possible d'obtenir la synchronisation avec des émissions plus éloignées les unes des autres, et il est arrivé à des résultats très satisfaisants en employant comme horloges secondaires des pendules électromagnétiques de M. Hipp, sur lesquelles le courant correcteur n'agissait qu'une seule fois par minute. Il a pu ainsi maintenir d'accord deux pendules dont l'un avait la tendance de retarder de 2 $\frac{1}{2}$ minutes par vingt-quatre heures sur l'autre. Des piles non constantes, telles que celles de M. Leclanché, sont dans ce cas parfaitement suffisantes (*).

Dans le système Breguet (à deux électro-aimants), les pendules réglés doivent avoir la tendance d'avancer sur le pendule réglant. Dans le système Vérité, au contraire, ils doivent avoir la tendance de retarder. Cette différence s'explique par le fait des différences de position qu'occupent les pendules réglés au moment où l'attraction magnétique se produit. En réglant convenablement non seulement la durée du contact, mais aussi l'intensité du courant, on peut arriver à corriger également l'avance et le retard.

(*) Lorsque le courant chargé de maintenir le synchronisme acquiert une certaine intensité, il peut à lui seul entretenir le mouvement des horloges secondaires; de correcteur il devient alors moteur. M. Liais a construit, d'après ce principe, ses compteurs électro-chronométriques à pendule, chez lesquels le courant, mis en action toutes les secondes, maintient en oscillation un pendule battant la demi-seconde, et réagissant au moyen d'un rochet et de cliquets d'impulsion sur les aiguilles de l'horloge.

CHAPITRE IV

HORLOGES-MÈRES

Nous avons fait connaître au chapitre III les conditions auxquelles doivent satisfaire les organes essentiels d'un système d'unification de l'heure par l'électricité. Nous avons successivement analysé les fonctions du générateur, de l'électro-aimant récepteur, du conducteur, enfin de l'interrupteur. A l'occasion de ce dernier organe, qui exerce une influence prépondérante sur la bonne marche de tout le système, nous avons indiqué quelles sont les précautions principales à prendre dans la construction de l'horlogemère où il a son siège. Nous allons compléter ces indications par la description de quelques types d'horloges-mères qui ont donné de bons résultats pratiques.

Parmi ces types, ceux qui ont été imaginés par M. Hipp sont les plus intéressants et les mieux étudiés. Ils forment, avec les compteurs électro-chronométriques et les différents appareils accessoires proposés et construits par cet inventeur, un ensemble qui a résolu de la manière la plus satisfaisante le problème de la distribution de l'heure uniformisée. Le succès croissant des horloges de M. Hipp, les nombreuses applications qui en ont été faites sur une grande échelle, leur supériorité incontestable sur tous les autres systèmes essayés, expliquent suffisamment la place importante que nous leur consacrons ici.

Les compteurs électro-chronométriques de M. Hipp exigent, outre l'interrupteur fournissant les émissions proprement dites, un *renverseur de courant* capable de changer à chaque minute le sens de ces émissions. Il n'était pas question de charger de cette double fonction des pendules à poids ou à ressort ordinaires, celles-ci n'ayant pas un excédent de force motrice suffisant pour vaincre, sans compromettre la bonne marche de l'échappement, les résistances mécaniques considérables provoquées par la mise en œuvre d'organes semblables.

Aussi M. Hipp emploie-t-il exclusivement pour ce service, soit la pendule électrique que nous avons décrite au chapitre II, soit un régulateur à poids combiné avec un mouvement d'horlogerie spécial opérant, indépendamment de l'échappement, les émissions et les renversements du courant.

Les figures 77 à 81 donnent la disposition d'une horloge-mère de la première espèce. La roue à rochet *R* (fig. 77), qui fait un

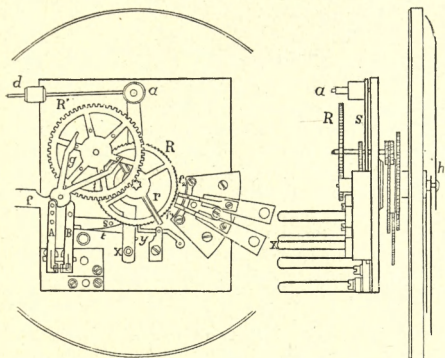


Fig. 77

tour par minute, est directement soumise aux impulsions du pendule ; la tige de ce dernier, dont le mouvement est entretenu par l'électricité, rencontre à chaque oscillation double la goupille *X* adaptée à l'extrémité inférieure du levier d'échappement *S* mobile autour d'un axe *a*. Au retour de l'oscillation, ce levier, sous l'influence du contrepoids *d*, fait avancer, par l'intermédiaire du ressort d'acier *t*, une dent du rochet *R*, en sorte que l'aiguille *h*, qui est adaptée à l'axe de ce rochet, bat la seconde sur le cadran. Un bras isolé *r*, dont l'extrémité est garnie de platine, tourne avec le rochet et vient toucher à chaque tour, autrement dit à chaque minute, deux

ressorts doubles f_1 f_2 , (fig. 77 & 78) dont les deux parties, ordinairement isolées l'une de l'autre, sont alors réunies par ce bras et ferment le circuit sur les compteurs électro-chronométriques;

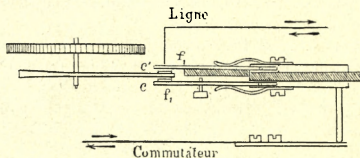


Fig. 78

c'est l'interrupteur proprement dit. Le second ressort double f_2 , exactement semblable au premier, est mis en action par le bras r deux secondes après f_1 . Chacun des interrupteurs f_1 f_2 dessert un groupe de compteurs ; on peut ainsi disposer, autour du rochet R , 2, 3, 4, 5, 6, 7, etc., interrupteurs (voir fig. 81) correspondant chacun à un groupe de compteurs, ceux-ci recevant à tour de rôle des émissions de courant à deux secondes d'intervalle les unes des autres. Cet arrangement permet d'actionner, avec une pile relativement faible, un grand nombre de compteurs.

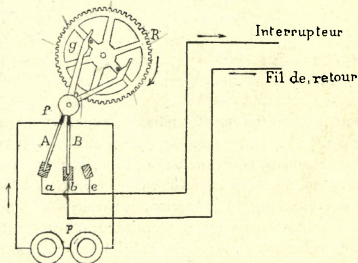


Fig. 79

Le renverseur de courant est constitué par deux ressorts A , B , (fig. 77, 79 & 80) adaptés sur un levier f mobile autour d'un axe,

et prolongé de l'autre côté de cet axe par une pièce en forme d'ancre g , sur les bras de laquelle travaillent six goupilles disposées sur les bras de la roue dentée R' , faisant un tour en douze minutes. Les bras de l'ancre g sont formés de façon que le passage de deux goupilles placées sur un même diamètre de la roue R' , donnent successivement deux positions différentes aux ressorts A et B . Pour une de ces positions, ceux-ci sont en contact avec les deux plots platins a et b (fig. 79); pour l'autre, ils touchent les deux plots b et c (fig. 80). Dans le premier cas, le courant positif de la

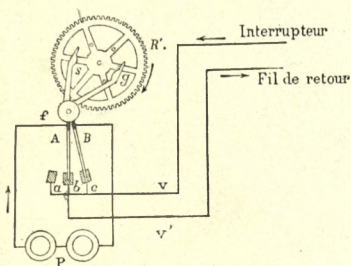


Fig. 80

pile P entre dans le ressort A , puis dans le plot a , et de là va au compteur par l'interrupteur, pour revenir par le plot b et le ressort B au pôle négatif de la pile. Dans le second cas, ce même courant positif entre par le ressort A et le plot b , arrive au compteur par le fil v' , et en revient par l'interrupteur, le plot c et le ressort B . Comme il s'est écoulé une minute entre ces deux changements de position des ressorts du renverseur, l'émission du courant reçue par le compteur à la première minute est de sens inverse à celle reçue par lui à la seconde minute. Pour toutes les minutes paires, les armatures polarisées des compteurs seront amenées par le courant contre l'une des jambes de leurs électro-aimants; pour toutes les minutes impaires, elles seront amenées vers l'autre jambe (voir au chapitre III, la description du compteur Hipp).

Les interrupteurs (fig. 77 & 81) sont munis du dispositif évitant les effets nuisibles de l'extra-courant.

Une horloge-mère, telle que celle que nous venons de décrire et pourvue de deux interrupteurs de groupes, est capable d'actionner jusqu'à cinquante compteurs de dimensions quelconques; avec quatre interrupteurs, le chiffre de ces derniers peut être de cent, et ainsi de suite.

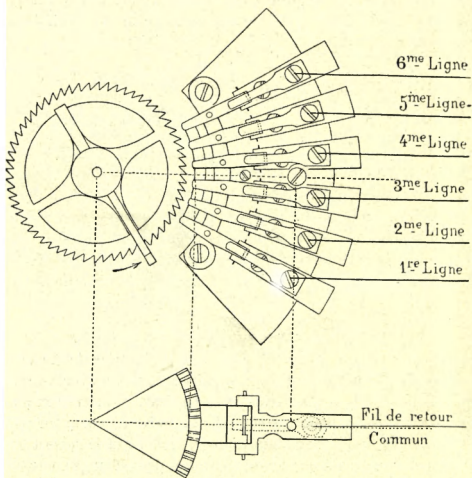


Fig. 81

La figure 81 montre comment on dispose les interrupteurs dans le cas où l'horloge-mère doit actionner six groupes de compteurs (soit cent cinquante horloges environ).

M. Hipp, suivant le degré de précision que l'on exige, emploie des pendules battant la seconde ou la demi-seconde. La figure 82

représente une horloge-mère électrique battant la seconde qui, munie d'interrupteurs semblables à ceux de la figure 81, peut actionner jusqu'à huit groupes d'horloges secondaires.

Lorsque le réseau des compteurs électro-chronométriques atteint des proportions considérables, l'horloge-mère doit être construite en conséquence. M. Hipp a imaginé, pour ce service, un régulateur à poids qui déclanche à chaque minute un mouvement d'horlogerie chargé d'opérer les émissions et les renversements du courant.

Les figures 83 à 89 représentent l'ensemble schématique et les détails d'une horloge-mère de cette catégorie. Celle-ci comprend trois parties principales :

A. Le régulateur proprement dit, qui consiste en un pendule *e* (fig. 83), battant la seconde et compensé au mercure, et en un mécanisme d'échappement à ancre *b*.

B. Un mouvement d'horlogerie *c*, sur lequel réagit le poids moteur *d*, et qui est réglé par un pendule à force centrifuge ou par un volant à ailettes.

C. Un appareil à contacts *a*, portant les interrupteurs et le renverseur de courant.

Ces trois parties sont solidaires les unes des autres; voici, d'une manière générale, le jeu de cet ensemble :

Lorsque la roue d'échappement du régulateur proprement dit a fait une révolution complète, elle déclanche, par l'intermé-

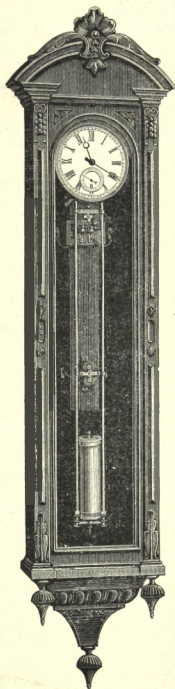


Fig. 82

diaire de leviers de détente convenablement disposés, le mouvement d'horlogerie *c*. Celui-ci, sous l'action du poids *d*, entre

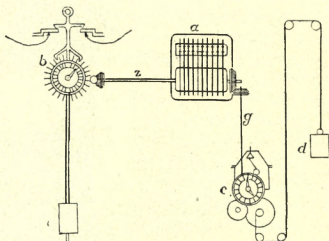


Fig. 83

en marche et fait faire une demi-révolution à l'axe vertical *g* et à l'axe horizontal *z*. Sur ce dernier est calé le cylindre à cames faisant fonctionner le renverseur de courant, et fermant successivement les interrupteurs de groupes. L'axe horizontal, prolongé du côté de l'échappement, remonte en même temps une roue dentée, dont la chute lente entretient pendant une minute la marche de la roue d'échappement et les oscillations du pendule à mercure. Avant la fin de la demi-révolution de l'axe horizontal *z*, les divers leviers et tiges de détente sont, au moyen d'un excentrique, remis en place, de manière à être prêts pour le prochain déclenchement. Enfin, des disques à entailles, calés sur deux des mobiles du mouvement d'horlogerie *c*, produisent automatiquement l'arrêt des rouages.

On voit, d'après ce qui précède, que le train d'horlogerie *c* et les axes qui en dépendent sont animés de mouvements intermittents dont la durée n'est que d'une fraction de minute. Par contre, la roue d'échappement et le pendule à mercure fonctionnent d'une manière continue sous l'influence du poids de la roue dentée, qui est remonté à chaque minute. Nous allons entrer dans le détail de ces divers mécanismes.

La figure 84 montre tout d'abord la disposition de la roue

d'échappement et de son moteur à force constante. Cette roue se voit en r ; elle a trente dents, sur lesquelles réagissent à tour de

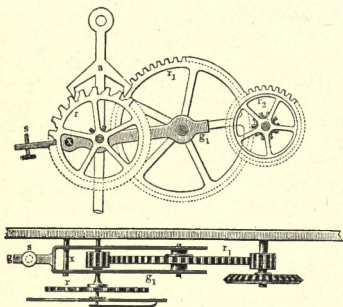


Fig. 84

rôle, et de la manière connue, les becs de l'ancre a . Sur son axe est calé un pignon, dans les ailes duquel engrènent les dents de la roue r ; l'axe de celle-ci est porté par les deux branches d'une pièce g_1 en forme de fourchette, pouvant tourner autour d'un axe x placé de l'autre côté du pignon. Le poids de la pièce g_1 , augmenté de celui de la roue r_1 , tend ainsi à faire tourner le pignon et la roue d'échappement dans le sens de l'aiguille d'une montre.

Lorsque la pièce g_1 est arrivée au bas de sa course, c'est-à-dire lorsque la roue d'échappement r a fait un tour complet, la vis s , adaptée à l'extrémité de la pièce g_1 de l'autre côté de l'axe x , atteint sa position la plus élevée, et opère alors instantanément le déclenchement des leviers de détente qui mettent en liberté le volant du mouvement d'horlogerie c (fig. 83). Celui-ci, et avec lui l'axe horizontal de l'appareil à contacts, entre en marche. Une roue conique r_2 (fig. 84), engrenant avec une autre roue conique calée sur cet axe horizontal, fait alors un tour complet et remonte ainsi par l'intermédiaire d'un second pignon la roue

l'extrémité inférieure de la tige verticale dont il vient d'être question; elle est attachée à un levier H_6 , dont la chute provoque par l'intermédiaire de la goupille i le déplacement du levier à quatre branches Q , et par suite la mise en liberté du dernier mobile NW , sur lequel est calé le volant O du grand mouvement d'horlogerie.

Le remplacement de tout le système de déclenchement est produit par le moyen de l'excentrique P (fig. 85) calé sur l'axe du cylindre à cames, et d'une goupille fixée sur la face antérieure de la roue conique v remontant l'échappement à force constante. Le contrepoids K (fig. 86) sert à équilibrer le poids de la tige.

Avant la fin du mouvement, cette tige t a relevé le levier H_6 (fig. 87), en sorte que rien n'empêche plus les branches inférieures du levier Q de tomber dans les entailles des disques R et S , et d'arrêter ainsi de nouveau le doigt N du volant.

Il nous reste maintenant à expliquer la disposition des interrupteurs de groupes et du renverseur de courant. Ce mécanisme est représenté en plan dans la figure 88. Il consiste en

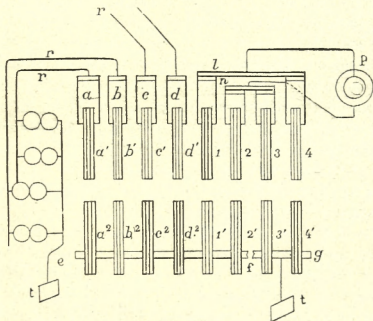


Fig. 88

deux séries de lamelles de contact réparties en groupes de trois. Chacun des groupes de la série postérieure a son support spécial

sur lequel il peut légèrement osciller. Six des groupes de la série antérieure ont un support commun ef , et les deux derniers groupes un support fg isolé de ef . Les groupes $a' a^2 - b' b^2 - c' c^2 - d' d^2$, qui se font vis-à-vis, constituent quatre interrupteurs de lignes. Les huit groupes de droite $11' - 22' - 33' - 44'$ forment le renverseur de courant; le groupe 1 est relié par la lame métallique l avec le groupe 4; de même le groupe 2 est en communication avec le groupe 3 par la lame n .

Quatre des comes du cylindre calé sur l'axe horizontal sont disposées de façon à mettre en contact successivement les groupes postérieurs $a' b' c' d'$ avec les groupes antérieurs $a^2 b^2 c^2 d^2$; autrement dit, ces comes ferment les interrupteurs de lignes. Pendant tout le temps que dure le travail de ces quatre comes, deux autres comes relient 1 avec $1'$ et 3 avec $3'$, 2 & 4 restant isolé de $2'$ & $4'$. Dans ces conditions, le courant positif de la pile P , dont les pôles sont reliés, ainsi que l'indique la figure, avec les deux lames l & n , parcourt le circuit suivant :

$P^+ - \text{lame } l - 1 - 1' - \text{support commun } fe - \text{successivement } a' a^2 - b' b^2 - c' c^2 - d' d^2 - \text{lignes des compteurs électro-chronométriques } rr.. - \text{terre } t - \text{support } fg - 3' 3 - \text{lame } n - \text{pôle négatif de } P.$

A la minute suivante, c'est-à-dire lors de la seconde demi-révolution du cylindre à comes, ce sont les groupes $22'$ & $44'$ du renverseur de courant qui entrent en action ($11'$ & $33'$ restant isolés), et alors la fermeture successive des interrupteurs de ligne provoque la circulation d'un courant dans la direction :

$P^+ - \text{lame } l - 44' - fg - \text{terre } t - \text{compteurs} - \text{lignes} - \text{successivement } a' a^2 - b' b^2 - c' c^2 - d' d^2 - \text{support } ef - 2' 2 - \text{lame } n - \text{pôle négatif de } P.$

On voit que, dans le second cas, le courant parcourt les électro-aimants des compteurs dans un sens inverse de celui du premier cas. Les conditions nécessaires au jeu des armatures polarisées sont ainsi remplies.

Les extrémités des lamelles de contact sont naturellement soutenues par des lames de substance isolante (ébonite). Les comes du cylindre commutateur opèrent les contacts par l'intermédiaire de leviers platinés non représentés dans la figure 88.

La figure 89 donne la disposition des groupes de lamelles $a' b' c' d'$ avec le contact auxiliaire mr chargé d'éliminer les effets nuisibles de l'extra-courant.

L'appareil à contact que nous avons décrit est construit pour quatre interrupteurs de lignes. On peut facilement porter à 6, 8, 10, 12, etc., le nombre de ces interrupteurs, et par conséquent obtenir la possibilité de doubler et même de tripler le nombre des compteurs électro-chronométriques actionnés par une même pile.

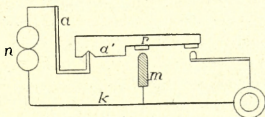


Fig. 89

L'horloge-mère dont nous venons de nous occuper est celle que M. Hipp emploie pour les réseaux de villes. Elle a les avantages suivants :

Sa marche est très précise, grâce à l'indépendance de l'échappement.

La disposition des interrupteurs en lamelles offre une grande sûreté de fonctionnement ; elle permet, en outre, de nettoyer très facilement les surfaces de contact, et cela sans qu'il soit nécessaire d'interrompre la marche du système.

Enfin, ainsi que nous venons de le dire, le nombre des compteurs actionnés par elle peut être considérable (sur douze interrupteurs de lignes, on peut atteler jusqu'à quatre cent quatre-vingts cadrans de toutes formes et de toutes dimensions, pour lesquels une pile de quinze éléments suffit).

Lorsque les compteurs à actionner ont des électro-aimants ordinaires (non polarisés), l'horloge-mère n'a pas de renverseur de courant ; son rôle se borne à fermer à intervalles réguliers (toutes les minutes ou toutes les demi-minutes) un interrupteur ; celui-ci, dans la forme la plus simple, consiste en un simple ressort que viennent toucher à chaque tour ou fraction de tour une ou plusieurs goupilles placées sur la roue d'échappement.

Nous avons déjà fait ressortir les désavantages de cette disposition lorsqu'elle est appliquée à de simples pendules à poids.

Relevons encore ici l'impossibilité où l'on se trouve, en employant de tels contacts, d'augmenter dans une proportion notable le nombre des compteurs actionnés par la même horloge-mère. Il n'est plus question, en effet, de diviser ces compteurs en groupes, dans le but de réduire la pile motrice à son minimum, car la roue d'échappement ne pourrait pas vaincre les frottements produits par 2, 4, 6, etc., ressorts placés les uns à la suite des autres.

Ce dernier reproche s'adresse également à toutes les horloges-mères constituées par de simples pendules à poids, quelle que soit d'ailleurs la forme des interrupteurs employés.

CHAPITRE V

MAINTIEN A L'HEURE DES HORLOGES-MÈRES

Lorsque le nombre des cadrans unifiés dépasse certaines limites, ou bien lorsque l'étendue de pays sur laquelle ils sont répartis est considérable, une horloge-mère unique ne suffit plus à les actionner tous, et l'on est obligé de constituer plusieurs centres secondaires d'unification ayant chacun son horloge directrice. Un régulateur central, installé le plus souvent dans un observatoire, est relié par un fil télégraphique avec les différents centres secondaires, et devient alors le centre général d'unification.

Si donc nous voulons étudier dans toute sa généralité le problème qui nous occupe, nous avons à examiner maintenant les divers procédés que l'on a employés pour maintenir à la même heure plusieurs horloges-mères.

Ces procédés peuvent être classés en trois catégories :

Dans les deux premières, le maintien à l'heure se fait automatiquement, soit par synchronisation des pendules, soit par remise à l'heure des aiguilles.

Dans la troisième, c'est un employé spécial qui est chargé de ce service, et il le fait en contrôlant journellement la marche

des horloges-mères au moyen d'un appareil électrique, qui est lui-même en relation télégraphique avec la pendule du centre général.

SYSTÈME PAR SYNCHRONISATION

On utilise dans ce système la méthode décrite au chapitre III sous lettre *ca*. Le régulateur central, muni de l'interrupteur provoquant les émissions du courant synchronisateur, commande les balanciers des horloges-mères qui battent ainsi à l'unisson.

M. Hipp a appliqué récemment ce système aux horloges électriques réparties dans les diverses stations du chemin de fer métropolitain de la ville de Berlin.

Chacune de ces stations, au nombre de neuf, possède une horloge-mère semblable à celle décrite au chapitre IV; son balancier bat la seconde, et elle est construite pour actionner deux groupes de compteurs électro-chronométriques à courants renversés. L'électro-aimant réagissant sur le balancier a deux fonctions: l'une qui consiste à entretenir le mouvement de ce balancier, l'autre qui a pour effet d'opérer la synchronisation. Pour cela, cet électro-aimant est placé à mi-hauteur du montant, et l'armature *a* (fig. 90) fixée au balancier *b* à double tige, oscille entre ses jambes; la bobine supérieure *e* est intercalée dans le circuit local de l'échappement électrique et de la pile correspondante *B*; la bobine inférieure *e₁* se trouve dans le circuit de ligne *L* où circule le courant synchronisateur lancé à chaque seconde par le régulateur central. Ce dernier, placé dans l'une des neuf stations,

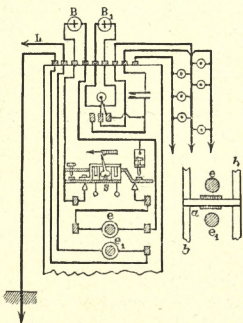


Fig. 90

est lui-même une horloge-mère à poids du type décrit au chapitre précédent. L'interrupteur provoquant les émissions du courant synchronisateur est à lamelles, et est d'ailleurs semblable en tout à celui que M. Hipp emploie dans ses pendules

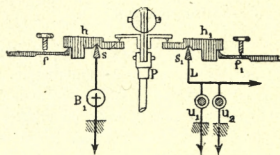


Fig. 91

astronomiques sous pression constante (voir chapitre II). La figure 91 en rappelle la construction, et montre en outre que le mode d'intercalation choisi pour les horloges-mères réglées u_1 u_2 est celui en dérivation. La

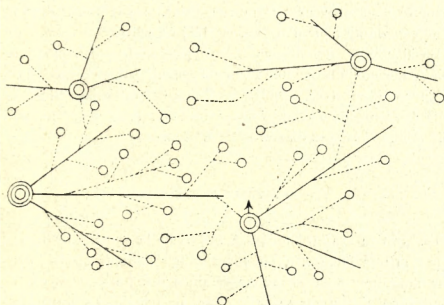
pile B doit naturellement être de la catégorie des piles constantes. L'émission se produit au moment où le balancier du régulateur central, en arrivant dans la position verticale, réunit métalliquement les lamelles h de gauche avec les lamelles h_1 de droite. Les vis f , f_1 , permettent de régler la durée de cette émission, qui est au plus de $\frac{1}{10}$ de seconde. Les pendules des horloges réglées doivent avoir la tendance de retarder de quelques secondes par jour sur celui de l'horloge réglante. Cependant une légère avance peut également être corrigée lorsque le courant synchronisateur a une intensité suffisante.

A Paris, seize pendules Breguet à deux électro-aimants, intercalées en tension sur deux circuits dits urbains, sont synchronisées par une pendule unique placée à l'Observatoire. Ces seize pendules sont destinées à desservir un certain nombre d'horloges secondaires d'après le système de la remise à l'heure. Elles doivent avoir la tendance d'avancer sur la pendule centrale (voir le journal *la Lumière électrique* du 20 juillet 1881).

A Berlin fonctionne, depuis quelques années, un système de six pendules dites *normales*, réglées par un régulateur de l'Observatoire. Ces six pendules devaient plus tard devenir les centres secondaires d'un système complet de distribution de l'heure.

SYSTÈME PAR REMISE A L'HEURE

Ici, le courant émis par le régulateur central n'intervient qu'à de rares intervalles (toutes les six, douze ou vingt-quatre heures) pour remettre à l'heure les horloges-mères secondaires. Le problème, qui a beaucoup d'analogie avec celui étudié au chapitre III, sous lettre *c*₁, est rendu un peu plus compliqué par le fait que ce n'est pas seulement la position des aiguilles qui doit être corrigée, mais bien aussi celle des interrupteurs actionnant les horloges secondaires.









-  Horloge-mère réglante.
-  Id. réglée.
-  Id. réglée et réglante.
-  Fils principaux de groupes.
-  Fils secondaires d'embranchements.
-  Compteurs électro-chronométriques.

Fig. 92

M. Hipp a construit un appareil qui répond de la manière la plus complète aux conditions voulues. Nous donnerons une idée de l'importance de la méthode employée par cet inventeur, en disant qu'elle permet une extension indéfinie et continue d'un système d'unification d'heure, sans qu'il soit nécessaire de placer des fils spéciaux pour le service du maintien à l'heure des horloges-mères. Il n'y a pas de régulateur central proprement dit, mais chaque horloge-mère, quelle que soit sa situation, et au moyen des mêmes interrupteurs servant à actionner les compteurs électro-chronométriques, peut être choisie comme horloge réglante pour un certain nombre d'autres horloges-mères, et même une horloge-mère, munie du dispositif de remise à l'heure et réglée par ce moyen, peut, à son tour, devenir horloge réglante pour d'autres, et ainsi de suite.

La figure 92 donne une idée approximative de l'immense variété de combinaisons que l'on peut obtenir par ce procédé. Les horloges-mères avec remise à l'heure deviennent ainsi de véritables translateurs, et c'est précisément là le nom qui leur a été donné (*horloges-mères à translation*).

SYSTÈME MIXTE

Un système mixte, tenant à la fois de la synchronisation et de la remise à l'heure, a été imaginé par l'auteur de ces lignes pour maintenir à la même heure plusieurs horloges-mères au moyen d'un régulateur central. Voici les conditions auxquelles il satisfait :

1. L'horloge-mère du type électrique inventé par M. Hipp est une pendule à demi-seconde, dans laquelle les émissions du courant synchronisateur n'ont lieu que toutes les minutes (voir chapitre III), ce qui permet l'emploi d'une pile peu constante, et nécessite une dépense de courant relativement faible.

2. Le régime normal est celui où le pendule de l'horloge réglée bat à l'unisson avec celui de l'horloge réglante, autrement dit, où il y a synchronisation. Mais si, pour une raison quelconque, ce régime normal est troublé, l'horloge réglée y revient auto-

matiquement, et cela aussi souvent que les perturbations se répètent. La suppression du courant synchronisateur pourrait même durer une journée entière sans compromettre le retour au synchronisme.

3. Enfin, dans le cas d'une suppression complète et permanente du courant réglant, l'horloge-mère continuera à fonctionner seule avec un léger retard que l'expérience a appris pouvoir être de huit à dix secondes au plus par vingt-quatre heures.

Voici comment cet appareil est construit :

Sa forme extérieure est exactement semblable à celle de la figure 41 (page 62). Il possède le renverseur de courant et les interrupteurs de groupe qui en font une horloge-mère capable d'actionner cent, deux cents et même trois cents cadrans. L'électro-aimant chargé d'entretenir le mouvement du balancier avec l'aide de l'échappement électrique reçoit lui-même les émissions du courant synchronisateur; celles-ci sont produites par le pendule même de l'horloge réglante, et elles ont une durée très courte.

L'interrupteur qui les fournit est lui-même double, et consiste d'une part en un premier contact *a* (fig. 93) adapté à la suspen-

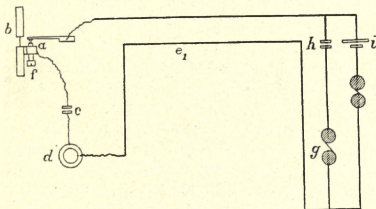


Fig. 93

sion *b* du pendule réglant et fermé toutes les secondes; d'autre part, en un second contact *c* qui est semblable aux interrupteurs de groupe des horloges-mères, et qui n'est fermé qu'une fois par minute, au moment précis où l'aiguille des secondes de l'horloge réglante arrive au *zéro* du cadran. C'est seulement

lorsque ces deux contacts sont fermés ensemble que le courant de la pile *d* de synchronisation peut circuler dans la ligne *e*; *c* règle donc la *fréquence* des émissions et *a* (au moyen de la vis *f*) leur durée.

L'électro-aimant *g* de l'horloge réglée n'est pas directement en relation avec la ligne *e*; celle-ci passe auparavant par un interrupteur *h* exactement semblable au contact *c* de l'horloge réglante, et fermé de la même manière et au même moment. On comprend alors que si les pendules des deux horloges battent exactement à l'unisson, et si les aiguilles de secondes arrivent au même instant au *zéro* de leurs cadrans, le courant fermé en *a* trouvera les deux contacts *c* et *h* fermés, et, par conséquent, pourra circuler dans l'électro-aimant *g* et maintenir ainsi le synchronisme.

La position de cet électro-aimant, par rapport à l'armature du pendule réglé, est telle que la condition du synchronisme n'est remplie que si le pendule réglé a, sur le pendule réglant, une tendance légère à retarder. Il résulte de là que si l'on place l'aiguille des secondes de l'horloge réglée en *avance* sur celle de l'horloge réglante, et que, par suite, on supprime ainsi la possibilité pour le courant synchronisateur de circuler (puisqu'alors les deux contacts *c* et *h* ne peuvent plus être fermés en même temps), le pendule réglé retardera sur le pendule réglant jusqu'à ce que les deux aiguilles à secondes étant de nouveau en concordance, le courant réglant ait pu recommencer à circuler et maintienne de nouveau les pendules à l'unisson.

Pour obtenir également le retour automatique au synchronisme lorsqu'il y a *retard* de l'aiguille à secondes de l'horloge réglée, l'auteur a placé derrière son mouvement un second électro-aimant *k* dont l'armature commande un dispositif de remise à l'heure; *k* est en communication avec un nouvel interrupteur ou contact *i* adapté à la roue d'échappement de l'horloge réglée, qui ne peut être fermé qu'aussi longtemps que l'aiguille à secondes de cette horloge n'est pas au zéro, et qui a une durée égale au nombre de secondes dont l'horloge réglée retarde par vingt-quatre heures sur l'horloge réglante, lorsque le courant synchronisateur ne l'influence pas.

On comprend que cette disposition a pour effet de lancer l'émission venant chaque minute de l'horloge réglante dans l'électro-aimant k de remise à l'heure, toutes les fois que l'aiguille à secondes de l'horloge réglée est en retard sur l'autre.

Le mécanisme de remise à l'heure est disposé de la manière suivante :

Lorsque l'électro-aimant k n'est pas actif, les aiguilles et le doigt de contact des interrupteurs de groupes fonctionnent normalement, c'est-à-dire que les uns parcourent régulièrement les divisions du cadran, et que l'autre fournit à la fin de chaque minute les émissions actionnant les compteurs électro-chronométriques. Mais, au moment où l'armature de k est attirée sous l'influence du courant venant du régulateur central, elle réagit sur les rouages, de manière à communiquer aux aiguilles et au doigt de contact une vitesse double, en sorte que le moment ne se fait pas attendre où l'accord entre l'horloge réglée et l'horloge réglante se rétablit, et où, par conséquent, les émissions du courant du régulateur central peuvent reprendre leurs fonctions synchronisatrices.

L'émission envoyée par l'horloge réglante étant de courte durée, l'attraction correspondante de l'armature de k ne durera pas assez longtemps pour qu'un retard de plusieurs secondes puisse être corrigé d'une seule fois; mais cet inconvénient est négligeable, car il est peu important que la remise à l'heure s'effectue en une seule minute ou en plusieurs minutes consécutives. On pourrait d'ailleurs adopter un dispositif mécanique tel que la vitesse double persistât aussi longtemps que l'aiguille des secondes n'est pas d'accord avec celle de l'horloge réglante.

L'interrupteur i ouvrant passage à l'émission du courant sur l'électro-aimant de remise à l'heure k , pourrait avoir une longueur au moins égale à la moitié d'une minute, afin que les chances de retour au synchronisme fussent aussi grandes que possible.

Toutefois, en pratique, il est parfaitement suffisant que cette longueur soit de huit à dix secondes, temps correspondant au retard qui se produirait dans l'horloge réglée si le courant synchronisateur était supprimé pendant vingt-quatre heures con-

sécntives. En effet, un retard dépassant cette limite est purement accidentel et peut être corrigé à la main.

SYSTÈME NON AUTOMATIQUE

Lorsque c'est un employé qui est chargé du maintien à l'heure des horloges-mères, chacune de celles-ci doit être accompagnée d'un appareil électro-magnétique qui soit capable de fournir au moins une fois par jour, ou mieux encore à toute heure du jour, l'heure astronomique.

Cet appareil dépend naturellement de la construction du régulateur central, et diffère suivant que celui-ci envoie des émissions rares ou fréquentes. Dans le premier cas, la pendule dite à *coïncidences* de M. Hipp rend d'excellents services.

Cet instrument, représenté par la figure 94, consiste en un

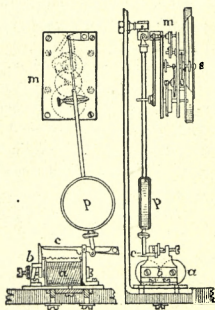


Fig. 94

mouvement d'horlogerie ordinaire *m* réglé par un pendule à demi-seconde *p* et mû par un ressort ou un poids. En temps ordinaire, le pendule est accroché dans une position inclinée par un levier *c*, retenu lui-même lorsque l'armature *b* de l'électro-aimant *a* n'est pas attirée. Au moment où se produit l'émission du courant venant du régulateur central, cette armature se déplace, déclanche le levier *c*, et le pendule *p*, commençant à osciller, permet à une aiguille de secondes *s* de parcourir son ca-

dran en indiquant ainsi le temps exact du régulateur central.

La longueur du pendule *p* est telle que cette aiguille fait 61 sauts par minute; celle-ci avance donc d'une seconde à chaque minute, et il se produit ainsi, entre ses battements et ceux du

pendule de l'horloge-mère à contrôler, des *coïncidences* qui, comme une sorte de vernier acoustique, permettent d'apprécier les soixantièmes de seconde.

Lorsque les émissions du courant venant du régulateur central peuvent avoir lieu toutes les secondes, l'appareil électro-magnétique accompagnant l'horloge-mère est muni d'un interrupteur à main qui permet de le relier instantanément avec le fil venant du régulateur central. Cet appareil peut, dans ce cas, être un simple téléphone, ou un électro-aimant à armature bruyante donnant à l'oreille la cadence des battements du régulateur central; le contact à secondes de ce dernier est alors organisé de manière à ne pas expédier d'émission à la première seconde de chaque minute; cette seconde muette sert ainsi de point de repère pour numérotter les autres.

Chacun des différents systèmes de maintien à l'heure des horloges-mères que nous venons de passer en revue a ses avantages et ses inconvénients; on choisira dans chaque cas particulier celui qui s'adapte le mieux aux circonstances locales.

Lorsque les distances qui séparent les horloges-mères du régulateur central sont grandes, et que, par suite, il est trop onéreux d'installer des lignes exclusivement réservées au service du maintien à l'heure, on préfère le système de la pendule à coïncidences, qui ne met la ligne à contribution qu'une fois par vingt-quatre heures et pendant quelques minutes seulement; cette ligne reste alors disponible pendant tout le reste de la journée pour tout autre service télégraphique. Par contre, ce système exige à chaque station d'horloge-mère la présence d'un employé contrôleur.

Le système par synchronisation est très exact, puisque les balanciers des horloges-mères battent continuellement à l'unisson, et il n'exige pas l'intervention d'employés contrôleurs puisqu'il est automatique. D'autre part, il réclame des lignes spéciales ne pouvant faire aucun autre service simultané, et nécessite une grande dépense de pile, les émissions ayant lieu le plus souvent à chaque seconde.

Le système de remise à l'heure est peut-être le plus parfait, et évite le mieux les inconvénients qui viennent d'être signalés.

CHAPITRE VI

VUE D'ENSEMBLE D'UN SYSTÈME COMPLET D'HEURE UNIFIÉE

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié les différentes parties d'un système d'unification de l'heure par l'électricité. Il nous reste à faire voir le jeu d'ensemble des organes décrits plus haut, et à montrer comment chacun d'eux concourt au but commun. Pour donner plus d'intérêt à ces lignes, nous décrirons une installation qui, commencée en 1863, réorganisée en 1876, et depuis lors s'agrandissant chaque année, dessert les principaux centres horlogers de la Suisse occidentale, et est à notre connaissance la plus complète qui existe aujourd'hui (*).

Son centre général est l'Observatoire cantonal de Neuchâtel. Comme le service pratique de cet établissement scientifique consiste, d'une part dans l'observation et le contrôle des montres de précision fabriquées dans les Montagnes neuchâtelaises, d'autre part dans la transmission de l'heure astronomique, il est pourvu de tous les instruments nécessaires à une détermination et à une distribution aussi exacte que possible de cette heure.

Il est relié électriquement avec les localités suivantes, toutes pourvues d'une horloge à coïncidences de M. Hipp, pareille à celle décrite au chapitre V :

(*) M. le Dr Hirsch, l'éminent directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, a publié dans le tome X (année 1876) du *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, un travail complet concernant la réorganisation de 1876. Ceux de nos lecteurs que le sujet intéresse le consulteront avec fruit. C'est à ce travail et à l'obligeance de M. Hirsch que nous devons la majeure partie des renseignements contenus dans ce chapitre.

Neuchâtel-ville.	à	2	kilomètres du centre général.
Chaux-de-Fonds	»	33	»
Locle	»	40	»
Brenets	»	44	»
Ponts	»	50	»
Fleurier	»	72	»
Ste-Croix	»	86	»
Le Sentier	»	151	»
Brassus	»	156	»
Bienne	»	32	»
St-Imier	»	62	»
Berne	»	65	»

(Ces chiffres donnent les distances réellement parcourues par le courant de l'Observatoire, et non pas les distances à vol d'oiseau.)

Parmi ces localités, il en est cinq : Neuchâtel-ville, Locle, Bienne, Chaux-de-Fonds et Berne, qui possèdent un réseau complet de compteurs électro-chronométriques, système Hipp, actionnés par une horloge-mère placée à côté de l'horloge à coïncidences, et qui, par suite, constituent des centres secondaires proprement dits.

Le nombre des cadrans unifiés est actuellement d'environ 700 (*).

Les fils électriques reliant l'Observatoire aux diverses stations d'horloges à coïncidences sont (à l'exception de quelques kilomètres de lignes spéciales) les lignes télégraphiques de l'État, qui, chaque jour, de 12^h45^m à 1^h15^m, sont réservées à la transmission du signal d'heure. Celle-ci s'effectue automatiquement par l'intermédiaire d'une pendule électrique à 1 heure précise, temps de Neuchâtel.

(*) Remarquons ici que l'heure fédérale fournie par l'Observatoire à l'administration des postes et télégraphes, à Berne, est transmise par celle-ci à toutes les stations de chemins de fer et à tous les bureaux de poste de la Suisse, en sorte qu'en fait, l'action de l'Observatoire de Neuchâtel, comme centre général, s'étend sur tout le territoire de la Confédération. On pourrait donc, à la rigueur, faire rentrer dans notre système les réseaux urbains de Bâle, Zurich, Lucerne, Winterthour, qui comptent environ 300 cadrans. (Genève, avec ses 103 cadrans, dépend de l'Observatoire de Genève.)

Nous allons examiner successivement:

A. L'organisation du centre général.

B. Celle d'un centre secondaire tel, par exemple, que celui de Neuchâtel-ville.

A. CENTRE GENERAL

Les instruments qui participent à la transmission de l'heure sont :

a) La pendule électrique dont il vient d'être question, et qui, après avoir été remise à l'heure d'après les observations astronomiques, provoque l'envoi dans les lignes aboutissant aux stations d'horloges à coïncidences de quatre émissions de courant: la première à $1^h0^m0^s$ dans la ligne Neuchâtel-Brassus; la deuxième à $1^h0^m4^s$ dans la ligne Neuchâtel-Berne; la troisième à $1^h1^m0^s$ dans la ligne Neuchâtel-Brassus; la quatrième à $1^h1^m4^s$ dans la ligne Neuchâtel-Berne.

b) Une table de transmission (fig. 95) comprenant les appareils suivants :

1. Un relais *a*, dont les bobines sont parcourues par les quatre émissions successives de la pendule électrique, et qui ferme à son tour deux contacts, dont l'un *k* fait circuler le courant de la pile générale de transmission dans la ligne Neuchâtel-ville-Chaux-de-Fonds - Locle - Brenets - Ponts - Fleurier - Ste-Croix - Le Sentier - Brassus, et dont l'autre *l* rend le même service à la ligne Bienne-St-Imier-Berne. Il y a entre les deux émissions correspondant aux deux lignes un intervalle exact de 4^s ; mais comme l'heure fédérale (méridien de Berne) est de 1^m56^s en avance sur l'heure de Neuchâtel, le premier signal arrive à Berne à $1^h2^m0^s$, et le second à $1^h3^m0^s$, temps fédéral.

2. Sur chacune des lignes, une boussole galvanométrique *b*, *b'*, pour contrôler l'intensité du courant de ligne.

3. Une boîte de résistances *c* permettant, au moyen du manipulateur *g* et de l'interrupteur *f*, de contrôler l'état de la pile générale du signal.

4. Un télégraphe Morse *d*, sur lequel on reçoit successivement,

à des minutes convenues, les signaux de réponse de chacune des stations, signaux qui sont destinés à renseigner l'employé de l'Observatoire au sujet du succès de l'expédition du signal d'heure, et, par suite, à révéler immédiatement un ou plusieurs défauts éventuels du système.

5. Un commutateur *e* permettant, avec l'aide du manipulateur *g*, d'intercaler à la main successivement les deux lignes sur la pile du signal, et, par suite, de s'assurer du bon état de leur isolation.

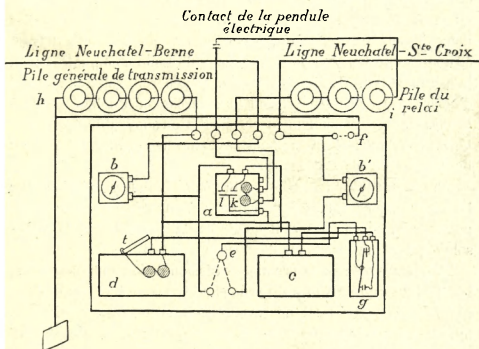


Fig. 95

6. Un interrupteur *f*, au moyen duquel, avec l'aide du manipulateur *g*, on ferme le courant de la pile de transmission sur la boîte de résistances *c* et la boussole *b*'.

c) Une pile *h* pour la transmission du signal d'heure; elle est composée de quarante éléments charbon-zinc de 0^m.15, chargés d'acide sulfurique dilué.

d) Une pile *i*, d'un petit nombre d'éléments, pour actionner les bobines du relai *a*.

La figure 95 donne le plan général des communications reliant

ces appareils entre eux. Voici les différentes manipulations que doit effectuer l'employé de l'Observatoire :

A 12^h45, après l'achèvement des calculs de réduction pour les observations de la nuit et du soleil, et après la comparaison chronographique de toutes les pendules sidérales donnant les moyennes de ces observations, la pendule électrique est mise à l'heure au moyen de pendules auxiliaires, qui permettent de corriger sa marche au centième de seconde près.

Dix minutes avant 1 heure, on s'assure de la bonne isolation des lignes en pressant sur le manipulateur *g*, après avoir relié, au moyen du commutateur *e*, la pile *h* successivement avec les deux lignes. Naturellement, à cet instant, ces dernières doivent être sur toute leur longueur exemptes de toute communication à la terre résultant de l'intercalation d'un appareil, soit aux stations d'horloges à coïncidences, soit aux bureaux des télégraphes de l'État. On obtient facilement ce résultat au moyen de commutateurs convenablement manœuvrés par les employés de ces bureaux et de ces stations.

Puis vient le contrôle de la pile générale de transmission, que l'on effectue en fermant l'interrupteur *f*, en pressant sur le manipulateur *g*, et en observant quelle est la déviation de la boussole *b'* pour une résistance donnée du rhéostat *c*.

A 1 heure précise, la première émission de la pendule actionne les bobines du relais *a*, qui ferme par le contact *k* le circuit de la pile générale sur la ligne Neuchâtel-Brassus, et met ainsi en marche les pendules des horloges à coïncidences réparties le long de cette ligne.

L'armature du relais, en s'éloignant de son électro-aimant par suite de l'interruption de ce premier courant, intercale automatiquement le contact *l*, en sorte qu'à 1^h0^m4^s, la seconde émission du courant de la pendule dans les bobines du relais provoque la circulation du courant de la pile générale dans la ligne Bienne-St-Imier-Berne, et décroche à son tour les horloges des stations de cette ligne.

A 1^h1^m0^s et 1^h1^m4^s, deux nouvelles émissions de la pendule envoient un second signal successivement sur les deux lignes, et donnent ainsi aux employés des stations d'horloges la faculté de

répéter une seconde fois la comparaison de la marche de la pendule qu'ils contrôlent avec le temps de l'Observatoire.

De 1^h2^m0^s à 1^h3^m0^s, l'employé de l'Observatoire, en pressant pendant une minute sur le manipulateur *g*, envoie dans la ligne Neuchâtel-Brassus un courant de longue durée; on note dans toutes les stations la déviation produite sur la boussole par ce courant. De 1^h3^m0^s à 1^h4^m0^s, la même opération a lieu du côté de Berne.

De 1^h5^m0^s à 1^h10^m0^s se fait la réception des signaux de réponse sur le Morse *d*, que l'on a préalablement intercalé au moyen de l'interrupteur *t*.

Pour donner une idée de la régularité remarquable avec laquelle fonctionne le système de transmission que nous venons

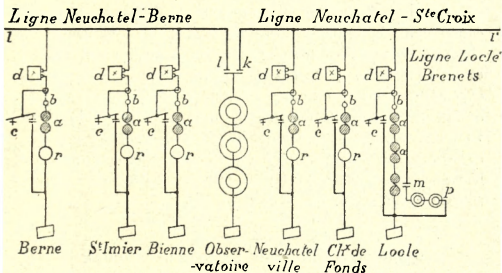


Fig. 96

de décrire, il suffit de constater qu'en 1884, d'après le rapport du directeur de l'Observatoire, le signal a manqué six fois seulement en moyenne dans les différentes stations.

Avant de passer à la description de l'un des centres secondaires, il sera bon de donner le schéma des stations d'horloges à coïncidences, et d'indiquer le mode d'intercalation adopté. La figure 96 nous renseigne suffisamment à ce sujet. On voit que les électro-aimants *a*, *a*, de ces horloges sont placés en dérivation

sur les deux lignes l, l' , venant de l'Observatoire. Il a donc fallu équilibrer le système au moyen de résistances additionnelles r, r, r , calculées d'après la méthode que nous avons donnée dans les *Notions préliminaires* et au chapitre III. Pour les stations rapprochées de l'Observatoire, ces résistances étant beaucoup plus fortes que la résistance de l'électro-aimant de l'horloge à coïncidences, on a profité de cette circonstance pour intercaler dans le même embranchement plusieurs stations en série; c'est ce qui a été fait au Locle par exemple, où il y a deux horloges: l'une dans le voisinage de l'horloge-mère du réseau, l'autre à l'école d'horlogerie; et même on a intercalé en m un relais qui, avec l'aide d'une pile locale p placée au Locle, est chargé de desservir la station des Brenets en même temps qu'une station privée chez un fabricant du Locle.

Les interrupteurs b, b, b , permettent de couper la communication entre la ligne de l'Observatoire et les instruments de chaque station (ou série de stations); ils sont ordinairement ouverts, et ne se ferment qu'au moment où le signal d'heure va être expédié, c'est-à-dire tôt après le contrôle de l'isolation des lignes et de leurs embranchements par l'employé de l'Observatoire. On voit en c, c, c , les manipulateurs, au moyen desquels les employés des stations expédient les signaux de réponse, et en d, d, d , les boussoles galvanométriques pour la mesure des intensités du courant à chaque station.

B. CENTRE SECONDAIRE DE NEUCHÂTEL-VILLE

Les figures 97 & 98 donnent une vue d'ensemble des instruments qui le composent. Ce sont :

a) Une horloge-mère à poids du type décrit au chapitre IV, et construite pour actionner six groupes de compteurs électro-chronométriques.

b) Un commutateur de direction, permettant de relier les fils de groupes $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$, les deux fils de la pile $P P'$ actionnant les compteurs électro-chronométriques et le fil de retour commun T (ou la terre), tantôt avec l'horloge-mère prin-

cipale, tantôt avec une horloge-mère de réserve, tantôt enfin avec un renverseur de courant et un interrupteur à main, au moyen desquels on remet tous les compteurs simultanément à l'heure dans le cas d'une perturbation générale.

c) Une horloge à coïncidences avec les instruments accessoires constituant la station de réception du signal d'heure.

d) Un thermomètre à maxima et minima.

e) Un pile *f* de dix éléments charbon-zinc avec charges au sel ammoniac, fournissant le courant aux cent compteurs électro-chronométriques répartis dans la ville.

La figure 97 donne le plan schématique des fils reliant ces

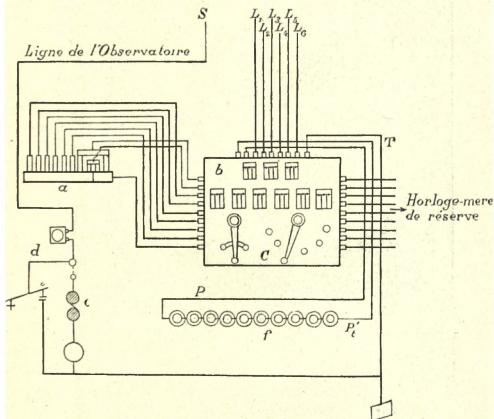


Fig. 97

appareils entre eux et avec les lignes aboutissant aux compteurs électro-chronométriques.

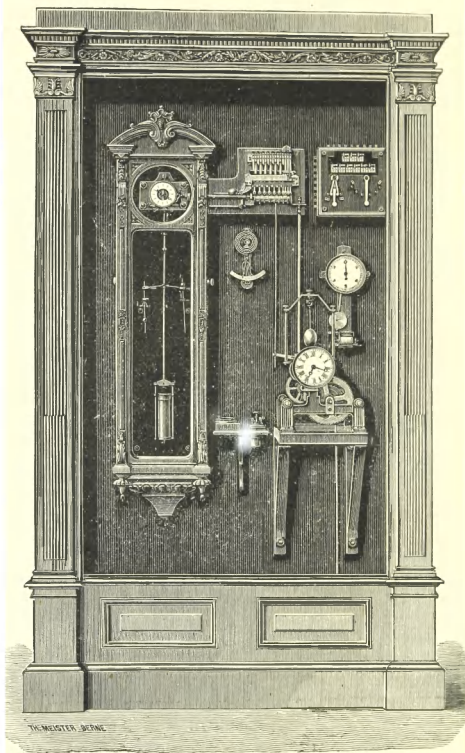


Fig. 98

Un buffet vitré *g* (fig. 98) protège les instruments contre la poussière.

L'horloge-mère de réserve mentionnée sous lettre *b* est ordinairement installée dans le buffet vitré ou à côté de lui sur la même paroi. A Neuchâtel-ville, où le voisinage immédiat de l'usine de M. Hipp l'a rendue superflue, elle a été supprimée; lorsque le nettoyage de l'horloge-mère principale doit avoir lieu (tous les cinq ans environ), on intercale provisoirement les compteurs sur un régulateur installé pour la circonstance. La figure 99 donne l'aspect extérieur d'une horloge-mère de réserve avec balancier battant la demi-seconde.

Les centres secondaires dépendant de l'Observatoire de Neuchâtel ayant surtout pour but de mettre l'heure astronomique à la portée des horlogers, et cela par le moyen des compteurs électro-chronométriques eux-mêmes, il a fallu prendre des précautions spéciales pour assurer dans tous les points du réseau la distribution exacte de cette heure.

Chaque jour, tôt après la réception du signal d'heure sur l'horloge à coïncidences, l'horloge-mère est remise à l'heure au moyen de deux petits pendules auxiliaires qui sont placés à droite et à gauche de son balancier, et que l'on peut faire osciller momentanément avec ce dernier. L'un d'eux produit l'avance, l'autre le retard, et leur longueur est telle qu'une minute de fonctionnement provoque une seconde d'avance ou de retard. L'horloge à coïncidences permettant d'apprécier les soixantièmes de seconde, on n'aura donc qu'à mettre aux prises l'un ou l'autre des pendules auxiliaires pendant un nombre de secondes égal à celui des soixantièmes de seconde, dont l'horloge-mère avance ou retarde sur le signal d'heure. L'horloge-mère étant d'ailleurs

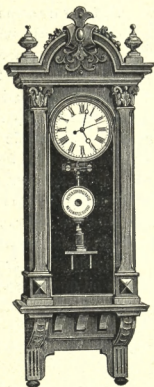


Fig. 99

un régulateur de précision, on n'aura jamais plus d'une fraction de seconde à corriger.

Afin d'assurer la régularité de succession des émissions du courant dans les compteurs électro-chronométriques, la détente mécanique déclanchant le mouvement des interrupteurs de groupes se produit à chaque minute exactement au même moment; en outre, le régulateur de ce mouvement est un pendule à force centrifuge.

Toutes ces précautions ont permis d'atteindre dans la distribution de l'heure une exactitude que l'on peut définir en disant que l'écart maximum de n'importe quel compteur est au plus de trois dixièmes de seconde.

Complétons ces indications en disant que les fils amenant le courant aux compteurs sont en ^{acier} ~~fer~~ de $\frac{27}{10}$ mm de diamètre, que le retour de ce courant s'effectue par les conduites de gaz, que le système est équilibré au moyen de résistances additionnelles convenablement réparties, que les diamètres des cadrans des compteurs varient de 0^m20^s à 1^m30^s, et que plusieurs d'entre eux sont à double face.

Le développement total des fils composant le réseau est actuellement d'environ 12 kilomètres. Outre les compteurs proprement dits, le courant urbain actionne un calendrier et un enregistreur des variations du niveau du lac de Neuchâtel.

Le nombre des récepteurs reliés à l'horloge est d'environ cent, répartis en quatre groupes.

CHAPITRE VII

CONTROLE ET CORRECTION DES FAUTES

DES COMPTEURS ÉLECTRO-CHRONOMÉTRIQUES

Nous avons déjà fait comprendre précédemment l'importance que le public attache avec raison à une régularité de marche complète chez tous les compteurs; nous avons fait voir aussi que l'on peut arriver à d'excellents résultats en donnant à chacun

des organes qui font partie d'un système de distribution d'heure unifiée, la forme et les dimensions les mieux appropriées au rôle qu'il joue dans l'ensemble.

Malgré toutes les précautions prises lors de la construction du réseau, il arrive çà et là que un ou plusieurs compteurs cessent d'être d'accord avec l'horloge-mère. Ce cas se présente :

a) Lorsque la pile, mal surveillée, ne fournit plus un courant suffisant.

b) Lorsqu'il se produit dans un fil de groupe ou dans un embranchement un défaut d'isolation ou de conductibilité.

c) Lorsqu'une ou plusieurs communications à la terre deviennent défectueuses.

d) Lorsqu'un ou plusieurs compteurs exposés à la poussière sont devenus trop sales pour que leur mécanisme puisse fonctionner.

e) Lorsque les surfaces de contact des interrupteurs de groupe sont oxydées et opposent de la résistance au passage du courant.

Un surveillant bien familiarisé avec son système reconnaît immédiatement auquel de ces défauts il a affaire, et peut le corriger facilement. Quelques mesures rapides prises en intercalant le galvanomètre, soit dans l'embranchement de l'horloge en défaut, soit au commencement du fil de groupe, soit à la pile même, le renseignent vite sur la nature et l'emplacement du défaut. Nous donnons au chapitre VIII le détail des recherches à effectuer pour localiser ces défauts. En mentionnant les causes de perturbations, nous avons, par cela même, fait voir qu'il est impossible de les éviter toutes d'une manière absolue, et qu'il est naturel que l'on ait cherché à en annuler les effets au moyen de dispositifs particuliers.

Nous allons décrire celui que nous avons imaginé pour les compteurs de M. Hipp. Hâtons-nous d'ajouter qu'il ne faut pas donner à ces dispositifs une importance trop grande; leur utilité est bien amoindrie par le fait même d'une marche déjà très régulière de la part de ces compteurs; en outre, leur application nécessitant l'emploi de deux fils par groupe est coûteuse, et ne pourrait en tout cas rendre de réels services que sur un réseau très étendu.

Dans notre système, les bobines des électro-aimants des compteurs, au lieu d'être enroulées d'un simple fil, comme c'est le cas ordinairement, possèdent deux fils entièrement indépendants l'un de l'autre, c'est-à-dire tels qu'un courant circulant dans l'un d'eux ne puisse jamais passer dans l'autre. Les deux bouts aa' de l'un de ces fils (fig. 100) sont reliés d'une part avec

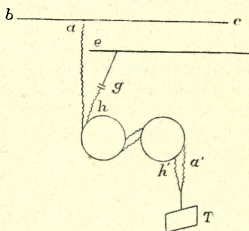


Fig. 100

la ligne de groupe proprement dite bc , d'autre part avec la terre, et amènent ainsi à l'électro-aimant les émissions ordinaires de l'horloge-mère. L'un des bout h de l'autre fil est relié avec la seconde ligne ef , que nous appellerons *ligne de correction*, et cela par l'intermédiaire d'un commutateur - interrupteur g ; l'autre bout h' est éga-

lement relié à la terre. L'interrupteur g est alternativement ouvert et fermé par un contact à plusieurs bras calé sur l'axe de la roue d'échappement du compteur; le nombre de ces bras est tel que l'interrupteur g est ouvert toutes les fois que l'aiguille des minutes arrive sur 0, 10, 20, 30, 40 et 50 minutes; pour toute autre position de l'aiguille, il est fermé. Lorsque tous les compteurs marchent d'accord avec l'horloge-mère, tous les interrupteurs g sont fermés et ouverts en même temps.

Chaque ligne de correction ef (il y en a autant que de fils de groupes proprement dits) aboutit dans le local où se trouve l'horloge-mère; elle passe d'abord par un contact a (fig. 101) qui est adapté à l'un des mobiles de cette horloge-mère, et que cette dernière ferme toutes les dix minutes, tôt après que la dernière émission du courant à minute a été expédiée par le dernier interrupteur de groupe.

Les contacts a correspondant aux diverses lignes de correction ne sont pas fermés en même temps, mais bien successivement: le premier étant fermé à 15 secondes par exemple (soit

1 seconde après la dernière émission à minute dans le cas où l'on a huit groupes de compteurs), dure $5\frac{1}{2}$ secondes; le deuxième est fermé tôt après et dure également $5\frac{1}{2}$ secondes, et ainsi de suite pour tous les autres. Il résulte de cette disposition que, dans l'espace de $5\frac{1}{2} \times 8 = 44$ secondes, tous les contacts *a* ont été fermés successivement.

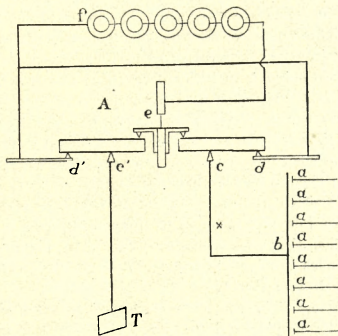


Fig. 101

Le doigt *b*, opérant ces fermetures sous l'influence du mobile de l'horloge-mère, est relié avec un interrupteur à lamelles *A* tel que ceux que M. Hipp emploie dans ses pendules de précision pour actionner des compteurs à seconde. Cet interrupteur, adapté à la partie supérieure d'une pendule électrique à demi-seconde (sans rouage ni cadran), communique d'après le schéma connu, avec le doigt *b* par le couteau *c*, avec la terre par le couteau *c'*, enfin par les appuis *dd'* et la suspension *e* du pendule avec une pile constante *f*, qui, dans notre combinaison, est chargée de fournir les courants corrigeant la position des aiguilles à minute de tous les compteurs en défaut.

Voyons maintenant comment fonctionne cet ensemble: suppo-

sons, pour rendre nos explications plus claires, qu'il est $10^h 9^m$, que tous les compteurs marchent d'accord avec l'horloge-mère, sauf dans les groupes 1 et 5, dans chacun desquels se trouvent deux ou trois compteurs en retard de 4, 6 ou 8 minutes. Au moment où toutes les aiguilles des compteurs non fautifs sautent sur $10^h 10^m$, les interrupteurs correspondants sont ouverts, et les courants circulant sur la ligne de correction ne peuvent entrer dans leurs électro-aimants. Par contre, ces courants peuvent entrer dans les électro-aimants de tous les compteurs fautifs, puisque les interrupteurs de ceux-ci sont fermés.

L'horloge-mère, à $10^h 10^m 15^s$, ferme le contact de correction a correspondant au groupe n° 1, et permet ainsi aux émissions alternativement renversées de l'interrupteur à lamelles et de la pile f de circuler toutes les demi-secondes dans le fil de correction du groupe. Ces émissions, trouvant dans les compteurs fautifs un chemin, font avancer les aiguilles de ceux-ci jusqu'à ce qu'elles aient, elles aussi, atteint $10^h 10^m$; à ce moment, les interrupteurs de ces compteurs en s'ouvrant coupent le circuit; la correction s'est donc effectuée, et cela dans l'intervalle des $5\frac{1}{2}$ secondes pendant lesquelles l'horloge-mère a fermé le contact a du groupe n° 1.

Au moment où les contacts a correspondant aux groupes 2, 3 et 4 sont fermés par l'horloge-mère, aucune émission ne circule sur les fils de correction de ces groupes, puisque, d'après notre supposition, il ne s'y trouve aucun compteur fautif, et par conséquent aucun chemin pour le courant de la pile f .

Par contre, la fermeture du contact a du groupe 5 ouvrira passage à ce courant, et provoquera la remise à l'heure des compteurs fautifs de ce groupe, et ainsi de suite.

Si la cause qui a amené la perturbation d'un ou plusieurs compteurs est permanente, il pourra se faire que ceux-ci ne marchent plus qu'avec le courant correcteur, et cela par intermittences de 10 minutes; on comprend que cet état de choses ne puisse être accepté comme définitif. Le devoir du surveillant, chaque fois qu'il a constaté que la pile f et l'interrupteur à lamelles sont entrés en fonction (et cette constatation peut se faire facilement au moyen d'une sonnette d'alarme que l'on

intercale en x , fig. 101), est d'intervenir et d'éloigner la cause de perturbation.

On voit ainsi que notre système a principalement pour but de maintenir à l'heure les compteurs *en attendant* cette intervention du surveillant.

La remise à l'heure, telle que nous venons de l'expliquer, a le défaut d'être faite à des intervalles trop éloignés; les différences pouvant aller jusqu'à 10 minutes, tromperaient encore grossièrement ceux auxquels l'horloge doit indiquer l'heure exacte. Mais l'intervalle de 10 minutes, adopté tout à l'heure pour simplifier les explications, n'a rien de forcé, et on peut le réduire sans inconvénient à 6, 4 et même 2 minutes, sans amener aucun changement principal dans la disposition des appareils; on arrivera ainsi à rendre aussi peu apparentes que possible les défaillances des compteurs.

En examinant dans toute son étendue le problème que nous nous sommes posé ici, on pourrait le définir d'une manière très générale, en disant qu'on atteindra la plus grande sûreté de marche possible dans un système d'heure unifiée, en donnant à chacun des organes en jeu un remplaçant, un substitut qui le supplée automatiquement toutes les fois qu'il est empêché de fonctionner. Il faudrait donc avoir à double, non seulement la pile, les interrupteurs de groupes, le fil conducteur, comme c'est le cas dans la méthode ci-dessus décrite, mais encore le mécanisme lui-même du compteur électro-chronométrique. Mais, en poussant à ce point-là les précautions à prendre en vue d'augmenter la sûreté de marche, on atteindrait, en introduisant une trop grande complication, un but précisément inverse de celui qu'on se propose. Il faut donc trouver la juste limite pour laquelle les avantages que l'on recherche ne sont pas annulés par l'accumulation de mécanismes délicats et sujets à dérangement; c'est l'expérience qui donnera à ce sujet les meilleurs renseignements.

Pour nous, nous serions assez disposé à admettre que le système des organes suppléants automatiques ne doit être appliqué qu'à la pile et aux interrupteurs de groupes, la ligne et le mécanisme des compteurs restant simples. Cette opinion nous semble d'autant mieux justifiée, qu'en l'adoptant, on se

trouve en face de frais de premier établissement très raisonnables.

Dans cette dernière hypothèse, l'horloge-mère suppléante, exactement semblable à la principale, enverrait elle-même, à chaque minute, des émissions alternativement renversées dans les lignes de groupes, et cela tôt après l'envoi d'émissions semblables par l'horloge-mère principale. Les premières étant toujours de même sens que les secondes, n'auraient d'effet que sur les armatures qui, pour une raison ou pour une autre, n'auraient pas obéi à l'émission principale.

Comme ces deux sortes d'émissions sont fournies par des piles différentes, on éviterait ainsi, d'une manière absolue, tous les défauts ayant leur siège dans la pile ou dans les interrupteurs de groupes principaux.

Au lieu d'une horloge-mère suppléante complète, on pourrait se borner à ne doubler que les interrupteurs de groupes, le mouvement de l'horloge-mère unique actionnant successivement à des intervalles convenables les deux jeux d'interrupteurs.

Mais en voilà assez sur ce sujet accessoire. Encore une fois, il ne faut pas s'exagérer la valeur de pareils dispositifs, rendus superflus la plupart du temps par une installation intelligente, et surtout par une surveillance et un entretien consciencieux de toutes les parties sujettes à détérioration.

CHAPITRE VIII

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES CONCERNANT UN RÉSEAU PUBLIC D'HORLOGES ÉLECTRIQUES

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

Lorsqu'il s'agit de doter une ville d'un réseau d'horloges électriques, la municipalité de cette ville, ou la société financière qui entreprend l'installation et l'exploitation du réseau, demande au fabricant d'horloges un avant-projet, avec devis à l'appui,

pouvant donner une idée approximative des frais de premier établissement, ainsi que des dépenses et des recettes annuelles.

Avant d'établir cet avant-projet, le fabricant doit, à son tour, recevoir de son client les données et pièces suivantes :

1^o Un plan de la ville sur lequel sont marqués :

a) L'emplacement de la station centrale de distribution (horloge-mère avec ses accessoires, voir chap. VI).

b) Les emplacements numérotés des horloges secondaires.

c) L'emplacement de l'observatoire astronomique chargé de fournir l'heure exacte.

2^o Une liste des horloges secondaires reproduisant les numéros correspondants du plan et donnant, en outre, la désignation de chaque horloge. Cette désignation sera assez détaillée pour que le fabricant puisse voir de suite :

a) Quel sera le diamètre du ou des cadrans de chaque horloge secondaire.

b) Si celle-ci sera à simple, double, triple ou quadruple face.

c) Si elle sera placée à l'extérieur ou à l'intérieur d'une maison.

d) Si elle devra être éclairée la nuit et comment (au pétrole, au gaz ou à l'électricité).

e) Quel sera son mode de fixation (en applique contre une paroi verticale, ou suspendue à un plafond, ou placée sur une colonne).

Nota. Si la ville en cause possède un certain nombre d'horloges de clocher déjà installées, que l'on désire maintenir à l'heure au moyen du courant électrique fourni par la station centrale, il faudra, pour chacune d'elles, étudier une détente électrique appropriée (voir chap. III).

Le fabricant, muni des données ci-dessus, s'occupe à tracer sur le plan le réseau des fils destinés à relier la station centrale avec les horloges secondaires. Pour faire cette opération, il doit fixer avant tout le nombre de groupes que comportera le réseau, en tenant compte du nombre des horloges secondaires marquées au plan et de l'extension qu'est susceptible de prendre le réseau dans l'avenir.

Ainsi, si quatre cents horloges sont marquées sur le plan, et

que l'on désire prévoir l'extension du réseau jusqu'à huit cents horloges, on adoptera une horloge-mère pouvant alimenter vingt groupes, chaque groupe étant destiné à recevoir au maximum quarante horloges. Les quatre cents horloges marquées au plan sont alors réparties entre seize des vingt groupes disponibles, ce qui charge chaque groupe à raison de $\frac{400}{16} = 25$ horloges en moyenne. Il reste alors une réserve de quinze horloges par groupe pour les seize groupes déjà en fonction, et de quatre groupes complets de quarante horloges chacun, ce qui représente bien une réserve totale de quatre cents horloges.

Ceci admis, et la station centrale étant supposée placée à peu près au centre de la ville, le tracé de chacun des seize fils de groupes est marqué sur le plan, de façon à passer aussi près que possible des horloges qu'il est destiné à alimenter, et auxquelles des fils d'embranchement le relient.

Pour fixer ce tracé, on tient aussi compte des rues qui se prêtent le mieux à l'installation de fils aériens et de celles qui, selon les prévisions, fourniront à l'avenir le plus d'horloges nouvelles.

En général, le réseau a l'aspect d'une toile d'araignée dont la station centrale est le centre, les lignes de groupes, les fils radiaux et les lignes d'embranchements, les fils transversaux. En effet, lorsque la répartition des horloges est régulière sur toute la surface de la ville, les fils de groupes partent de la station centrale dans toutes les directions de la rose des vents.

Le tracé, effectué comme nous venons de l'indiquer, permet de calculer en kilomètres le développement total des fils du réseau, et, par conséquent, de noter au devis la dépense d'installation correspondante.

Lorsque les électro-aimants des horloges secondaires ont chacun une résistance supérieure à 150 ohms, on peut adopter pour tous les points du réseau un fil de même section; cela simplifie les travaux d'installation et permet de brancher à l'avenir un nombre quelconque d'horloges sur n'importe quel fil d'embranchement, ce qui ne pourrait pas se faire si ce fil avait reçu une section plus petite en rapport avec le nombre restreint d'horloges qu'il devait alimenter au début. Le type de fil adopté pour le

réseau doit avoir, par rapport aux récepteurs, une résistance assez faible pour rendre superflu l'emploi des résistances compensatrices dont il a été question au chapitre III. L'expérience a démontré que cette résistance ne devait pas dépasser 5 ohms par kilomètre (fil de bronze silicieux ou chromé de 2^{mm} [et plus] de diamètre, ou tout autre de même résistance kilométrique).

Calcul de la pile. — La force et la composition de la pile capable d'alimenter les 400 horloges marquées au plan et plus tard le réseau en pleine charge se calcule ensuite de la manière suivante :

Soient 30 le nombre d'horloges secondaires du groupe le plus chargé, 150 ohms la résistance R_1 de chaque électro-aimant récepteur, 0.025 ampère l'intensité I_1 du courant normal que devra recevoir chaque horloge pour fonctionner avec la sûreté voulue, 5 ohms la résistance kilométrique du fil conducteur adopté.

Supposons, pour simplifier les calculs, que les 30 horloges soient toutes groupées à peu de distance les unes des autres à l'extrémité d'un fil de groupe de trois kilomètres de longueur; on aura, d'après la loi d'Ohm :

Volts E_1 nécessaires aux bornes d'une horloge = $R_1 I_1$

et comme $R_1 = 150$ ohms

et $I_1 = 0.025$ ampère

$$E_1 = 150 \times 0.025 = 3.75 \text{ volts}$$

L'intensité totale I_t du courant nécessaire à l'alimentation des 38 horloges du groupe sera :

$$I_t = 30 I_1 = 30 \times 0.025 = 0.75 \text{ ampère}$$

La résistance R_e du fil de groupe de trois kilomètres et des 30 horloges intercalées en dérivation (voir *Notions préliminaires*, loi des courants bifurqués) sera, en appelant R_2 la résistance de la ligne :

$$R_e = \frac{R_1}{30} + R_2 = \frac{150}{30} + (3 \times 5) = 5 + 15 = 20 \text{ ohms,}$$

ce qui donne comme nombre de volts V_t nécessaires aux bornes de la pile :

$$V_t = I_t \times R_e = 0.75 \times 20 = 15 \text{ volts,}$$

représentant, à raison de 1.5 volt par élément (V_p), une pile de 10 éléments charbon-zinc.

Si, comme il est prudent de le faire, on adopte des éléments à grande surface, leur résistance intérieure pourra être négligée.

En effet, admettons que cette résistance R_p soit de 0.1 ohm par élément, ces 10 éléments auront une résistance intérieure totale R_i de 1 ohm, et la résistance R_t de tout le circuit pour un fil de groupe sera :

$$R_t = R_e + R_i = 21 \text{ ohms,}$$

ce qui correspond à :

$$V_t = I_t \times R_t = 0.75 \times 21 = 15.75 \text{ volts (*).}$$

Comme il faut prévoir l'affaiblissement graduel des éléments une fois en fonction, on admettra une pile de 12 éléments.

La somme portée au devis pour la pile ne devra pas seulement prévoir les 12 éléments calculés, mais aussi un certain nombre d'éléments de réserve que l'expérience a démontré devoir être double environ de celui calculé.

Horloges secondaires. — Nous n'avons pas à nous occuper ici de la partie du devis d'installation qui concerne les horloges secondaires et qui dépend du genre et des dimensions des

(*) En donnant au calcul de la force de la pile tout le développement qu'il comporte, on arrivera facilement à déterminer l'énergie consommée par un réseau de 600 horloges réparties en 20 groupes de 30 horloges chacun. Nous avons vu, dans la partie des *Notions préliminaires* qui traite de la mesure des courants, que l'unité de puissance, le watt, est égale au produit d'un volt par un ampère. Notre pile de 15 volts ayant à fournir de courant 30 horloges absorbant ensemble 0.75 ampère effectuera donc un travail électrique de $15 \times 0.75 = 11.25$ watts. Si nous supposons que la durée de l'émission du courant actionnant un groupe soit d'une seconde, ces 20 groupes d'horloges absorberont $20 \times 11.25 = 225$ watts-seconde par minute, soit en moyenne $\frac{225}{60} = 3.75$ watts-seconde. Comme, d'autre part, ainsi que nous l'avons vu, un kilogrammètre-seconde est égal à 9.81 watts-seconde, le travail moyen effectué par notre pile sera de $\frac{3.75}{9.81} = 0.38$ kilogrammètre par seconde, soit $\frac{0.38}{75} = 0.005$ cheval-vapeur (cinq millièmes de cheval). Il résulte de là qu'avec un cheval-vapeur, on pourrait actionner électriquement un réseau complet de $600 \times \frac{1}{0.005} = 120.000$ horloges de toutes dimensions. Il est intéressant de rapprocher ce chiffre de celui auquel on arrive en faisant un calcul analogue pour la distribution de l'heure par l'air comprimé.

cadrans adoptés; ce sont les catalogues et prix-courants illustrés des fabricants qui doivent, sur ce point, fournir tous les renseignements voulus. Les figures 102 à 109 donnent une idée des différentes formes que peuvent affecter ces horloges, et des divers modes de fixation à employer.

La figure 102 représente une horloge à simple face à placer dans l'intérieur des maisons. La figure 103 donne l'aspect d'une horloge publique à simple face avec cabinet et cadre métalliques, à placer en applique contre un mur. Les

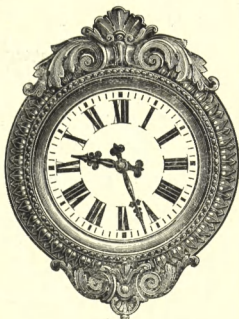


Fig. 102

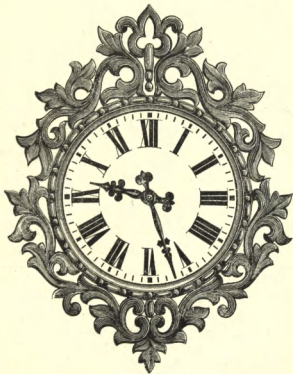


Fig. 103

figures 104 et 105 sont des vues d'arrière et de côté d'une

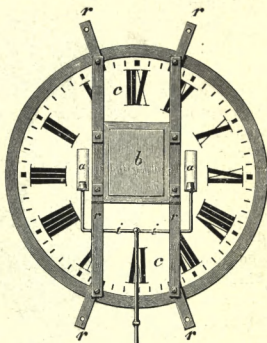


Fig. 104

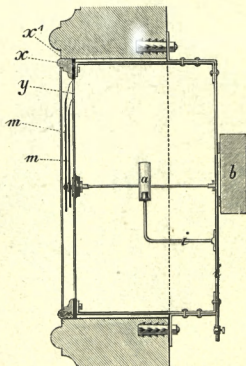


Fig. 105

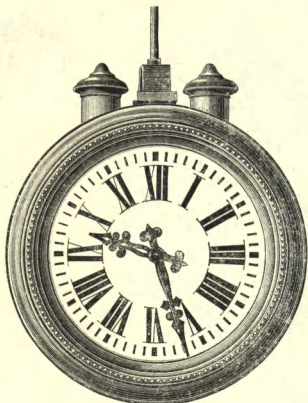


Fig. 106

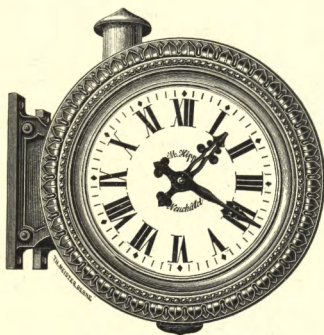


Fig. 107

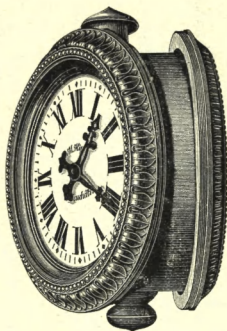


Fig. 108

horloge publique œil-de-bœuf, avec cadran transparent éclairé par deux flammes de gaz. La figure 106 donne la disposition intérieure d'une horloge à deux cadrans parallèles, avec éclairage par deux flammes de gaz et suspension au plafond. Les figures 107 et 108 représentent une horloge angulaire pour perron de gare ou place publique. Enfin la figure 109 donne l'aspect d'une horloge double sur colonne.



Fig. 109

INSTALLATION DU RÉSEAU

La pose de l'horloge-mère centrale avec ses accessoires et des horloges secondaires doit être faite en suivant les instructions données par les fabricants, instructions qui diffè-

rent entre elles suivant les formes et systèmes adoptés. Une remarque analogue doit être faite pour les piles. On aura soin de veiller spécialement à ce que les emplacements choisis permettent une surveillance et un entretien faciles de tous ces organes essentiels du réseau. Nous parlerons ici avec quelques détails de la pose des fils conducteurs, qui doit avoir lieu d'une manière aussi parfaite que possible, et répondre absolument aux deux conditions de conductibilité et d'isolation mentionnées au chapitre III des *Notions préliminaires*.

Installation des fils conducteurs. — Il faut distinguer entre fils intérieurs et fils extérieurs.

Fils intérieurs. — Ils sont en cuivre de 1 à 2 millimètres de diamètre recouvert d'une enveloppe isolante (coton, ruban ciré ou caoutchouté, gutta-percha, caoutchouc, etc). Leur emploi est restreint aux endroits protégés contre les intempéries et l'humidité.

On les fixe contre les murs ou parois au moyen de *cavaliers* (agrafes) en fer vitrifié ou émaillé, qu'on enfonce avec précaution dans le bois ou le gyps au moyen d'un petit marteau et d'un outil spécial.

Lorsque le mur est en pierre et ne permet pas de se servir d'agrafes directement, on est obligé d'y fixer de distance en distance de petite planchettes *aa* (fig. 110) sur lesquelles on agrafe les fils isolés; ces planchettes sont elles-mêmes vissées sur des tampons de bois chassés dans le mur.

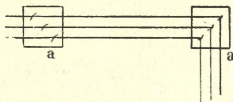


Fig. 110

Lorsqu'on aura à réunir deux bouts de fil, on le fera comme suit : enlever l'enveloppe isolante de chaque bout sur une longueur de 4 à 5 centimètres, nettoyer avec un couteau les deux bouts de fil de cuivre jusqu'à ce que le métal apparaisse brillant, tresser ensemble les deux fils, les souder soigneusement à l'étain; enfin recouvrir le tout de ruban ciré ou de caoutchouc mince destiné à remplacer la substance isolante précédemment enlevée.

En fixant les fils isolés, il faut en général avoir soin de ne gâter ni l'enveloppe isolante, ni le fil de cuivre en aucun endroit,

et conserver la certitude complète qu'il n'y a pas, sur toute la longueur du fil, une seule place où une perte de courant puisse se produire tôt ou tard. Il ne faudra jamais serrer deux fils différents sous la même agrafe.

Si la paroi contre laquelle on tend les fils isolés est exposée, soit d'une manière permanente, soit temporairement, à l'humidité, on évitera de mettre les fils en contact direct avec cette paroi, et on aura recours aux planchettes dont il a été question plus haut; ou bien, si l'emploi de ces planchettes n'est pas possible, on fera usage de fils pourvus d'une enveloppe isolante très solide et capable de résister à l'humidité (fils à isolement fort consistant en plusieurs couches de rubans caoutchoutés ou asphaltés).

Fils extérieurs. — Ils sont de deux sortes :

1° Les *câbles* que l'on place sous terre, et dont l'enveloppe isolante, particulièrement solide et résistante, est en outre protégée par une gaine métallique de plomb ou de fils de fer tressés.

2° Les *fils aériens* qui sont nus (sans enveloppe isolante) et qui sont supportés de distance en distance par des isolateurs en porcelaine.

Câbles souterrains. — Leur fabrication constitue une spécialité importante de diverses maisons renommées, dont les catalogues fournissent tous les renseignements voulus sur la matière isolante employée, la gaine de protection et les différents types ou numéros à disposition.

En général, l'emploi des câbles souterrains dans les réseaux d'horloges électriques est limité aux endroits où il n'est pas possible de se servir de fils aériens; par exemple, lorsqu'il s'agit de relier une horloge sur colonne placée au centre d'une place publique, avec le réseau urbain. Nous ne croyons pas qu'il y ait avantage à adopter d'une manière générale des câbles souterrains, car l'existence et le bon fonctionnement de ceux-ci sont souvent compromis par les innombrables travaux de voirie et de canalisation des rues des villes, en sorte que la plus grande sûreté de marche que l'on croit avoir obtenue par leur emploi est souvent illusoire. D'ailleurs leur prix est bien supérieur à celui des fils aériens.

Fils aériens. — Ils consistent généralement en fils de fer ou

d'acier galvanisés, ou en fils de bronze chromé ou silicieux, ayant une résistance kilométrique inférieure à 5 ohms. Ils sont supportés de distance en distance par des isolateurs *a* (fig. 111) en porcelaine fixés eux-mêmes à des supports en fer que l'on

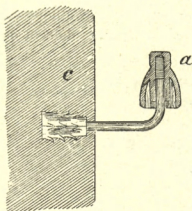


Fig. 111

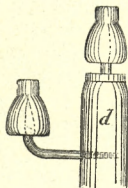


Fig. 112

scelle dans les murs extérieurs *c* des maisons situées sur le parcours de la ligne.

Quand on n'a pas de maison à disposition, on emploie des poteaux de bois *d* (fig. 112) enfoncés en terre et portant les supports d'isolateurs. Encore ici deux bouts de fils à raccorder doivent être soigneusement nettoyés, tressés ensemble, puis soudés à l'étain. En déterminant les points où doit passer la ligne, on évitera le voisinage d'arbres ou de plantes dont les rameaux pourraient tôt ou tard toucher le fil nu. Celui-ci doit être absolument libre et ne toucher ni plante ni maison, ni *aucun objet autre que les isolateurs qui le supportent*.

On relie les fils extérieurs *x* aux fils intérieurs *y* (fig. 113) au moyen d'un fil *ab* recouvert d'une forte enveloppe isolante capable de supporter, sans se détériorer, la pluie et le soleil; les deux extrémités du fil *ab* doivent naturellement être soigneusement soudées aux deux fils qu'il est destiné à relier.

Communications à la terre. — Dans les réseaux de villes, on remplace le fil de retour commun à tous les groupes par la *terre*. Cette communication à la terre se fait soit au moyen de plaques de cuivre qu'on enterre dans un sol humide et qu'on relie par un

fil nu à chaque horloge, soit en soudant sur les tuyaux d'eau ou de gaz les plus voisins un simple fil dont l'autre extrémité va à l'horloge; cette dernière méthode doit être préférée partout où elle est possible; elle impose cependant cette condition que la conduite d'eau ou de gaz, qui doit servir de chemin de retour au courant électrique, offre à ce dernier une continuité métallique complète; les joints des divers tuyaux de fer ou de fonte doivent donc être

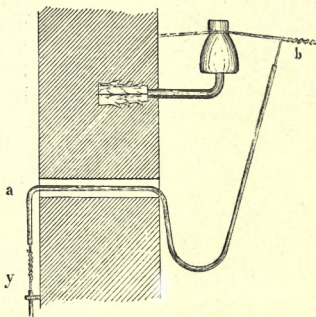


Fig. 113

faits au moyen de vis à écrous ou de plomb maté; c'est d'ailleurs ordinairement le cas.

Les soudures des fils de terre sur les tuyaux de gaz ou d'eau doivent être consciencieusement faites.

En résumé, les conditions que doivent remplir les conducteurs reliant entre eux le régulateur, les piles et les horloges secondaires sont : *continuité métallique des fils, isolation complète de la ligne, communication intime à la terre.*

MISE EN MARCHÉ DU RÉSEAU

Avant de mettre en fonction un réseau d'horloges électriques, il faut s'assurer si les circuits des lignes et de leurs embranche-

ments se trouvent dans de bonnes conditions au point de vue de l'isolation et de la conductibilité, et si chaque horloge secondaire recevra la quantité de courant à laquelle elle a droit.

On procède à la vérification de l'état d'isolement des lignes de la manière suivante :

Dans chaque circuit de groupe, tous les fils sortant des horloges pour aller en terre sont éloignés de leurs serre-fils a a' a'' a''' , etc. (fig. 114). Près de l'horloge-mère, l'extrémité b du fil de groupe est également détachée de son serre-fil et reliée provisoirement

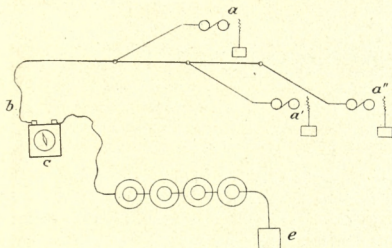


Fig. 114

avec un galvanomètre sensible c (à 1000 tours par exemple) et l'un des pôles de la pile totale d destinée à alimenter le réseau; l'autre pôle de la pile est mis à la terre en e .

Si l'isolation est parfaite, l'aiguille du galvanomètre restera absolument immobile; sinon elle sera déviée avec d'autant plus de force que le défaut d'isolation sera plus grand. En réalité, les supports des fils aériens sont tous des causes de pertes à la terre, mais de pertes extrêmement faibles qui, en pratique, sont négligeables et ne se manifestent sur le galvanomètre c que par une déviation très petite de l'aiguille. Une perte de courant assez forte pour ne pouvoir être expliquée par le fait des supports du fil aérien, devra naturellement être localisée et corrigée (*).

(*) Il est bon de se faire ici une idée exacte de l'influence que peut avoir une telle perte sur le fonctionnement du groupe. Si cette perte a pour effet de distraire

La conductibilité des fils est ensuite éprouvée par la mesure de la résistance électrique du fil principal *a* (fig. 115) et de chacun de ses embranchements *b* *b'* *b''*, etc. Cette mesure se fait

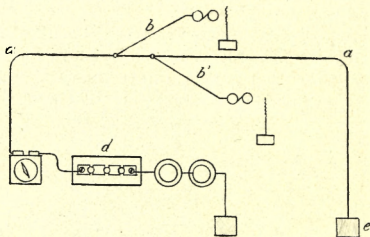


Fig. 115

par l'une des méthodes indiquées aux *Notions préliminaires* avec l'aide d'une boîte de résistance *d*, et en mettant successivement à la terre *e* chacun des circuits à contrôler. Si la résistance ainsi trouvée correspond à celle qui convient à la longueur *aa* de fil intercalé, celui-ci est en bon état de conductibilité; sinon il y a en lui une résistance anormale dont il faut découvrir le siège et qu'il s'agit d'éliminer. Ces résistances anormales sont presque toujours situées aux points de jonction de deux fils mal soudés, ou aussi dans les communications à la terre.

La portion du courant total reçue par chaque horloge se mesure après avoir relié de nouveau toutes les horloges aux fils qui sont destinés à les alimenter, et après avoir mis en marche l'horloge-mère qui commence alors ses fonctions de distributrice

du fil une quantité de courant égale par exemple à celle qu'absorbe une horloge en marche normale, elle équivaldra simplement à l'adjonction d'une horloge attelée au fil en plus de celles prévues, et, dans ces conditions, le groupe lui-même n'éprouvera aucune perturbation lors de la mise en marche; il y aura simplement une dépense de courant un peu plus forte que celle qui devait avoir lieu. Malgré cela, il faut absolument éviter de laisser une telle perte non corrigée, car sa valeur peut très bien augmenter dans la suite et atteindre des proportions nuisibles au bon fonctionnement du groupe.

de courant. On se transporte successivement à chaque horloge secondaire, et on intercale dans son circuit une boussole à 32 tours b (fig. 116) au moyen de deux fils provisoires y y' insérés dans une coupure u faite par exemple au fil de terre v v' , puis on observe la déviation que produit sur l'aiguille l'émission de courant envoyée par l'horloge-mère. Comme cette émission est de courte durée, on aura soin de maintenir à la main l'aiguille de la boussole un peu au-dessous du degré qui correspond au courant que l'on suppose devoir être reçu, et on observera si l'émission a pour effet de pousser l'aiguille un peu plus loin; après quelques tâtonnements, on arrive à réduire à son minimum cette déviation supplémentaire et à déterminer ainsi la déviation cherchée. Celle-ci

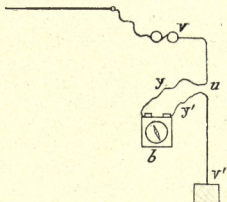


Fig. 116

devra être à un ou deux degrés près la même à chaque horloge, et, si la pile a été convenablement calculée, être égale à celle que produit le courant normal qui convient au système de compteur adopté (pour les horloges Hipp, 45 degrés de la boussole à 32 tours, soit environ 20 milli-ampères).

Les vérifications ci-dessus énumérées une fois faites, on peut procéder à la mise en marche définitive du réseau.

ENTRETIEN DU RÉSEAU

Le bon fonctionnement d'un système d'horloges électriques dépend au plus haut degré d'une surveillance intelligente et d'un entretien consciencieux des différentes parties qui le composent.

Parmi ces parties, les unes, comme les horloges secondaires, peuvent fonctionner pendant des années consécutives sans qu'il soit nécessaire d'y toucher; les autres, comme les piles, demandent absolument d'être contrôlées périodiquement une ou deux fois par mois et au besoin réparées; ce contrôle, lorsqu'il est fait avec régularité, est très simple à effectuer.

Le régulateur et les fils exigent aussi quelque surveillance, le premier, à cause des interrupteurs de groupes, qui, à la longue, s'oxydent et nécessitent un nettoyage; les seconds, lorsqu'ils sont exposés aux chocs extérieurs ou à des actions chimiques qui les détériorent eux ou leur enveloppe isolante.

Le nettoyage des contacts du régulateur doit être plus ou moins fréquent suivant que le nombre d'horloges attelées sur chaque groupe est plus ou moins grand; car c'est naturellement de ce nombre que dépend l'intensité du courant passant par l'interrupteur et pouvant oxyder ses surfaces.

Quant aux fils, leur entretien est nul lorsque leur installation a été faite avec les soins voulus, et, lorsqu'une fois posés, ils n'ont à subir aucune action extérieure.

Nous allons passer successivement en revue les soins à donner à chacune des parties du réseau.

Entretien du régulateur. — Les parties de l'horloge-mère qui demandent un entretien sont :

1° Les contacts des interrupteurs.

2° Les rouages.

Pour nettoyer un contact, on frotte avec précaution ses deux surfaces platinées au moyen de papier d'émeri fin, puis avec du papier blanc. Pendant cette opération, il faut avoir bien soin de ne pas déformer les surfaces des interrupteurs, qui ont généralement une forme spéciale destinée à assurer un bon contact et à éviter l'étincelle de l'extra-courant.

On veillera aussi à ne pas déplacer ni fausser les ressorts qui assurent ou portent ces contacts. Ordinairement, un contact sale est simplement recouvert d'une légère couche d'oxyde métallique qui s'enlève d'un seul coup de papier d'émeri; dans ce cas, le nettoyage est très facile.

Quelquefois, cependant, il arrive que la surface du contact est légèrement creusée; il faut alors frotter un peu plus longtemps pour faire disparaître la creusure; si cette dernière était trop profonde, et qu'on vit qu'en l'enlevant on risquerait de déformer trop la surface du contact, il vaudrait mieux la laisser subsister; mais alors il faudrait la nettoyer.

L'entretien des rouages de l'horloge-mère est le même que

celui de n'importe quel mouvement d'horlogerie ; il faut de temps en temps le nettoyer et renouveler les huiles ; celles-ci doivent être de première qualité.

Entretien des piles. — La pile est l'organe le plus sensible d'une installation d'horloges électriques, celui qui est le plus exposé à se détériorer rapidement. On peut dire que les neuf dixièmes des perturbations doivent être attribuées à la pile. Il faut donc vouer un soin spécial à son entretien, et surtout éviter de ne remédier au mauvais état de l'un ou de l'autre des éléments qui la composent qu'après que la perturbation s'est produite. Un bon surveillant prévient les dérangements et ne se laisse pas prévenir par eux.

Pour être assuré que la pile ne fera pas défaut à un moment donné, il faut toujours connaître la force de courant que donne chaque élément.

Le meilleur système de contrôle de la pile consiste à établir un carnet d'après le modèle suivant :

DATES	NUMÉROS DES ÉLÉMENTS									OBSERVATIONS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1891										
15 juillet.....	45	38	50	<u>18</u>	55	.....	.....	.....	.....
15 »	45	38	50	55	55	.....	.....	.....	.....	Changé l'élément 4.
15 août.....	44	<u>25</u>	48	53	50	.....	.....	.....	.....
15 »	44	50	48	53	50	.....	.....	.....	.....	Changé l'élément 2.

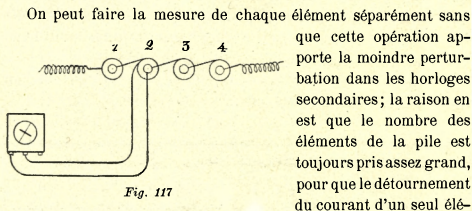
Dans la première colonne, on inscrit la date à laquelle on fait l'examen de la pile (pour un grand réseau, tous les quinze jours).

Dans les colonnes verticales suivantes, les chiffres 1, 2, 3, 4, 5, etc., signifient les numéros des places occupées par les différents éléments ; les nombres placés au-dessous de ces numéros donnent les déviations qu'ont indiqué à la boussole à un tour les éléments. Tous les éléments chez lesquels cette déviation ne dépasse pas un minimum que l'expérience a permis de fixer à 30°, sont laissés en place et continuent à fonctionner ; les autres doivent être rem-

placés par des éléments neufs ou nettoyés; on doit donc toujours avoir une réserve de ces derniers.

Les éléments remplacés sont mentionnés dans la colonne « observations, » et le chiffre de leur déviation souligné d'un trait; ce qui permet de retrouver d'un seul coup d'œil quelle a été la durée de tel ou tel élément.

La mesure de chaque élément se fait en reliant par deux fils provisoires les deux serre-fils de la boussole à un tour successivement avec les deux pôles de chaque élément, ainsi que l'indique la figure 117 où l'élément n° 2 est précisément en mesure.



On peut faire la mesure de chaque élément séparément sans que cette opération apporte la moindre perturbation dans les horloges secondaires; la raison en est que le nombre des éléments de la pile est toujours pris assez grand, pour que le détournement du courant d'un seul élément ne suffise pas à affaiblir la pile au point de dépasser la limite minima pour laquelle les cadrans secondaires marchent encore sûrement.

Pour enlever un élément faisant partie d'une pile en fonction, il suffit de relier par un fil provisoire direct les deux éléments voisins. Par exemple, dans le cas de la figure 117, on reliera le charbon de l'élément 1 avec le zinc de l'élément 3, et alors on pourra détacher de la pile l'élément fautif sans interrompre le système.

Entretien des fils. — En thèse générale, les fils, lorsqu'ils ont été installés correctement, ne demandent aucun entretien. Il faut cependant prévoir le cas de perturbations survenant ensuite de fautes de fils produites par des causes étrangères à l'installation même.

Les fautes de fils sont de trois sortes :

Ou bien la continuité métallique d'un ou de plusieurs fils

n'existe plus, et alors le courant qui doit y circuler est totalement arrêté.

Ou bien un accident introduit dans un des fils une résistance électrique anormale qui, ajoutée à la résistance normale de ce fil, oppose au courant de la pile un obstacle que celui-ci ne peut vaincre que partiellement, et qui a pour résultat d'empêcher ce courant d'arriver aux horloges en quantité suffisante pour les faire fonctionner avec la sûreté voulue.

Ou bien enfin, il peut s'établir entre deux fils qui, normalement, doivent être isolés l'un de l'autre, une communication directe par laquelle le courant se précipite en grande partie, ou même en totalité, de telle sorte que l'horloge n'en peut plus recevoir.

Ces trois cas sont caractérisés par les appellations suivantes :

1° Rupture du fil conducteur.

2° Résistance anormale introduite dans le conducteur.

3° Défaut d'isolation du conducteur.

On trouvera plus loin l'indication des méthodes à appliquer pour rechercher et localiser rapidement les fautes qui pourraient affecter non seulement les fils conducteurs du réseau, mais encore ses autres organes.

Entretien des horloges secondaires. — Il consiste simplement dans le nettoyage et le renouvellement des huiles des rouages. L'intervalle entre deux nettoyages consécutifs peut varier depuis deux à huit ans, suivant que l'horloge est plus ou moins exposée à la poussière.

RECHERCHE ET CORRECTION DES DÉFAUTS AFFECTANT LA MARCHE DU RÉSEAU

Un surveillant ne se contentera pas de *prévenir* les perturbations par un entretien consciencieux de toutes les parties composant un réseau d'horloges publiques, il devra être à chaque instant prêt à *remédier* rapidement à une perturbation quelconque que, pour une raison ou pour une autre, il n'aura pas su ou pu éviter.

Avant tout, c'est-à-dire avant de toucher en quoi que ce soit à l'un ou à l'autre des organes du réseau, il faut se rendre un

compte exact de la manière dont la perturbation se manifeste; autrement dit, il faut s'assurer :

a) Si la perturbation affecte une horloge isolée ou plusieurs, et, dans ce dernier cas, si les cadrans en défaut appartiennent au même groupe ou à des groupes différents.

b) Si les cadrans fautifs sont tous en retard du même nombre de minutes, ou bien si, au contraire, ce retard varie suivant les horloges.

c) Si les cadrans en défaut sont arrêtés totalement, ou bien s'ils se remettent en marche d'une manière intermittente.

Reprenons successivement ces différents cas avec leurs diverses combinaisons.

1° *Un cadran isolé est complètement arrêté.* Il est évident que le défaut ne peut être ni à la pile ni à l'horloge-mère, puisque toutes les autres horloges marchent correctement. Il ne faut pas non plus le chercher dans une isolation défectueuse de la ligne ou de ses embranchements, car, alors, les autres cadrans en seraient également affectés. Il faut le chercher soit dans le fil d'embranchement amenant le courant à l'horloge fautive, soit dans le fil des bobines de son électro-aimant, soit dans son fil de terre, soit enfin dans son mécanisme.

Le défaut peut être ou *mécanique*, et alors il consistera dans l'interposition d'un corps étranger empêchant les rouages de la minuterie ou l'axe de l'armature de fonctionner, ou bien *électrique*, et alors ce sera le courant qui aura été soit totalement supprimé à la suite d'une rupture du fil d'embranchement, ou du fil de terre, ou du fil des bobines de l'électro-aimant, soit affaibli au-dessous de la limite permise par l'introduction d'une résistance anormale en un point de ces mêmes fils.

On constatera auquel de ces défauts on a à faire, en intercalant dans le circuit de l'horloge un galvanomètre, et en s'assurant si le courant passe et si oui, avec quelle intensité.

Si l'aiguille du galvanomètre ne décèle aucun courant, il y a rupture de fil.

Si elle ne décèle qu'un courant trop faible, il y a résistance anormale.

Si, enfin, le courant est normal, c'est le mécanisme de l'horloge qui est en défaut.

La rupture du fil devra avant tout être cherchée dans le fil des bobines de l'électro-aimant aux points de sortie, puis dans le fil de terre, et enfin dans le fil d'embranchement ; la résistance anormale, à la soudure du fil de terre sur le tuyau de gaz ou d'eau, ou aux points de jonction de deux bouts de fil aérien ou au câble d'entrée dans l'horloge.

2° *Un cadran isolé est en retard et sa marche est intermittente.* Ici, il y a deux défauts possibles : l'un mécanique (rouages sales, pivots rouillés, aiguilles frottant sur le cadran), l'autre électrique, consistant en une résistance anormale dans le circuit ; on les différenciera au moyen du galvanomètre, comme il vient d'être indiqué ci-dessus.

3° *Plusieurs horloges appartenant au même groupe sont totalement arrêtées.* Si le galvanomètre intercalé à l'une quelconque des horloges en défaut n'indique aucun courant, il y a rupture du fil d'embranchement (en x par exemple, fig. 118) commandant toutes les horloges arrêtées $b\ c\ d\ e$. Il ne peut pas y avoir défaut

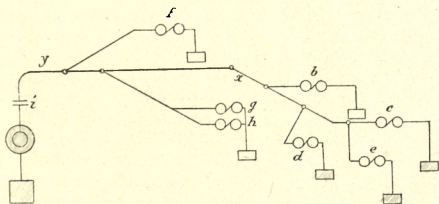


Fig. 118

d'isolation de la ligne, puisque les horloges $f\ g\ h$, par exemple, marchent bien. Il n'est pas probable qu'il y ait résistance anormale en x , puisque en c (par exemple) le galvanomètre est resté immobile. Enfin, il n'est pas probable qu'il y ait un défaut mécanique survenu en même temps dans plusieurs horloges b, c, d, e .

Si, au contraire, le galvanomètre inséré à l'une quelconque

des horloges fautives indique un courant affaibli, il y a une résistance anormale en x .

4° *Plusieurs horloges appartenant au même groupe ont une marche intermittente et sont en retard de la même quantité.* Encore ici, la solidarité existant entre les horloges en défaut permet de conclure à une faute du fil x qui les commande (fig. 118), et dont la continuité n'existe qu'à certains moments. Ce cas se produit lorsque le fil x présente une jonction mal faite, que l'on aurait, par exemple, oublié de souder (faute d'installation), et dans laquelle les deux bouts de fil, simplement tordus ensemble, peuvent, dans certaines circonstances (ébranlement causé par le vent, mouvements de dilatation et de contraction occasionnés par des variations de température), cesser de se toucher *électrique-*ment tout en restant reliés *mécaniquement*. Ceci arrive surtout lorsqu'une couche d'oxyde non conductrice s'est interposée en certains points des deux bouts de fil non soudés, de manière à compromettre parfois leur contact métallique.

5° *Plusieurs horloges appartenant au même groupe ont une marche intermittente et sont en retard de quantités différentes.* Il faut distinguer entre les deux alternatives suivantes :

a) Les horloges en défaut sont toutes groupées sur un même fil d'embranchement, tel que x (fig. 118).

b) Elles sont situées sur des embranchements quelconques.

Dans l'alternative *a*, il est probable qu'il y a en x une résistance anormale plus ou moins variable, occasionnant un affaiblissement de courant qui affecte, il est vrai, toutes les horloges *b, c, d, e*, mais les unes (les plus dures) plus que les autres. En effet, la régularité de fabrication des organes électriques et mécaniques des cadrans secondaires n'est jamais assez grande pour assurer à tous exactement la même sensibilité; dès lors, un affaiblissement du courant pourra très bien occasionner des ratés chez quelques-uns d'entre eux, mais non pas chez d'autres; si, au moment du passage d'émissions ultérieures, la résistance anormale a augmenté de valeur, et que, par suite, l'affaiblissement du courant soit devenu assez grand pour occasionner des ratés chez *toutes* les horloges dépendant du fil x , il s'établira entre ces dernières des différences de retard.

Une résistance anormale, telle que celle dont il vient d'être question, peut prendre naissance à une jonction de deux bouts de fil mal faite et surtout non soudée.

Dans l'alternative *b*, le défaut doit être cherché dans le fil de ligne en *y* (fig. 118), (résistance anormale légèrement variable affectant les horloges les plus dures d'une manière différente, mais laissant encore marcher correctement les horloges sensibles), ou bien dans l'interrupteur *i* de l'horloge-mère correspondant au groupe fautif (surfaces de contact sales donnant aux émissions de courant des intensités affaiblies légèrement variables), ou bien enfin dans un défaut d'isolation des fils du groupe, détournant une quantité de courant inversement proportionnelle à sa résistance, et diminuant jusqu'à la limite permise l'intensité reçue aux horloges.

On trouvera lequel des défauts ci-dessus mentionnés est en cause en mesurant le courant reçu à une horloge fautive, en contrôlant l'état de l'interrupteur du groupe, et, en dernier lieu, l'isolation de la ligne. Cette dernière opération, qui nécessite l'exclusion de toutes les horloges du groupe, ne doit être entreprise que si l'on a vainement essayé de trouver le défaut par un autre moyen moins radical.

6° *Toutes les horloges du groupe sont totalement arrêtées.* Il y a rupture du fil de groupe en *y* (fig. 118) avant le premier embranchement.

7° *Toutes les horloges du groupe sont en retard de la même quantité et marchent d'une manière intermittente.* Le cas est le même qu'en 4° ci-dessus, mais la jonction défectueuse doit être cherchée en *y* au commencement du fil de groupe.

8° *Toutes les horloges du groupe marchent d'une manière intermittente et sont en retard de quantités différentes.* Le cas est le même qu'en 5_a ci-dessus (le défaut est à chercher en *y*), ou bien qu'en 5_b, avec aggravation dans la variabilité des affaiblissements successifs produits, soit par un interrupteur sale, soit par une faute d'isolation.

9° *Toutes les horloges du réseau sont totalement arrêtées.* L'horloge-mère est elle-même arrêtée; ou bien il y a rupture du fil de terre du centre de distribution, ou bien l'un des deux fils

de la pile s'est détaché de son serre-fil ou s'est rompu, ou bien encore la communication entre deux éléments de pile est coupée, ou bien, enfin, le vase d'un élément s'est cassé et a laissé échapper son liquide.

10° *Il y a des horloges en retard dans tous les groupes, ou même seulement dans deux ou plusieurs groupes des plus chargés.* La pile ne fournit plus assez de courant, il faut changer contre des éléments neufs ou restaurés les éléments fautifs recherchés avec le galvanomètre à un tour.

Ou bien c'est la communication à la terre de l'horloge-mère qui présente une résistance anormale constante ou variable.

Ou bien, enfin, c'est le renverseur de courant de l'horloge-mère qui est sale et doit être nettoyé.

CHAPITRE IX

APPAREILS DESTINÉS A EVITER LA DÉTÉRIORATION DES ORGANES ÉLECTRIQUES

PAR LES COURANTS D'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

Lorsqu'un orage passe au-dessus d'une ville où est installé un réseau d'horloges électriques, une partie de l'électricité accumulée dans les nuages orageux peut se décharger dans la terre en suivant les fils de ligne, les électro-aimants des récepteurs ou même les interrupteurs de l'horloge-mère. Ce phénomène ne se produit pas sans qu'il y ait détérioration plus ou moins grave de ces organes, et, par suite, perturbation dans la marche d'une ou plusieurs horloges.

L'effet le plus souvent constaté à la suite de décharges atmosphériques est la rupture du fil des électro-aimants des récepteurs.

Pour éviter ces accidents, on a soin de placer à l'endroit où les fils de groupes sortent du bâtiment dans lequel se trouve l'horloge-mère, ainsi qu'à chaque cadran secondaire, un instrument appelé *parafoudre*.

Ce dernier est basé en principe sur la différence de nature des deux courants auxquels il est destiné à livrer passage; l'un d'eux, celui qui est chargé d'actionner les horloges, a une tension de quelques volts seulement, et ne peut en aucun cas franchir la plus petite couche de matière isolante qui se trouverait sur le chemin qu'il doit parcourir; l'autre, celui provenant du nuage orageux, possède, au contraire, une grande tension qui le rend capable de traverser un tel obstacle.

Une autre différence qui distingue ces deux sortes de courant, consiste en ce que l'un, celui de la pile, parcourt aisément et sans déviation possible, de grandes longueurs de fil isolé, replié plusieurs fois sur lui-même, comme celui des électro-aimants; tandis que l'autre, celui de la foudre, préférera toujours vaincre, en la traversant, une couche isolante, plutôt que de s'astreindre à parcourir les longs replis d'un fil embobiné.

En un mot, le chemin choisi par le courant de foudre n'est pas nécessairement celui qui lui offre le moins de résistance électrique, mais bien celui dans lequel la résistance électrique interposée a, dans la direction de propagation du courant, la plus petite dimension.

La figure 119 montre en principe comment le parafoudre met à profit les propriétés des deux espèces de courant. Soit *a* le fil de ligne où circulent en temps normal les émissions régulières du courant de pile alimentant le récepteur, *b* le fil de l'électro-aimant, *c* la terre, *dd'* deux plaques métalliques séparées

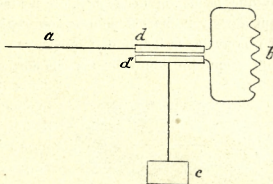


Fig. 119

l'une de l'autre par une couche très mince de matière isolante (air, papier, ébonite, etc.).

Si une ou plusieurs émissions de courant atmosphérique à haute tension arrivent jusqu'en *d* par le fil *a*, elles traverseront de *d* à *d'* l'isolant, et éviteront le chemin offert par *b*, qui est trop

long. Au contraire, le courant de pile est dans l'impossibilité de franchir l'espace *dd'*; il ne peut s'écouler en terre que par *b*.

Le dispositif très simple de la figure 119 a donc pour effet, de protéger contre la foudre le fil *b*, tout en assurant la transmission régulière des émissions du courant normal.

Les figures 120 & 121 représentent deux types courants de parafoudres; l'un dans lequel le passage du courant de foudre à travers la matière isolante (air) est encore facilité par les vis réglables *ee*, dont les extrémités en forme de pointes sont placées aussi près que possible des surfaces métalliques qui leur font vis-à-vis; l'autre, dans lequel la couche de matière isolante est constituée par une mince couche de papier *ff'* (fig. 121).

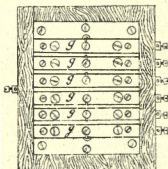
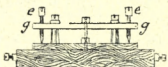


Fig. 120

Lorsqu'un parafoudre a fonctionné en livrant passage à un courant de foudre, on s'en aperçoit à ceci, que les pointes *ee* sont plus ou moins fondues, ou que la bande de papier est percée de trous et noircie; il faut alors rétablir les pointes, en régler à nouveau la position et renouveler la bande de papier.

Lorsque plusieurs fils aériens sortent d'un bâtiment, chacun d'eux doit être protégé contre la foudre; dans ce cas, on dispose le parafoudre comme l'indique la figure 120, en plaçant autant de lames parallèles *gg* qu'il y a de fils à protéger; la plaque *h*, reliée à la terre, fait vis-à-vis à toutes les lames (parafoudre à la station centrale d'un réseau d'horloges).

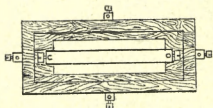
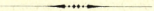


Fig. 121

Il ne serait pas absolument nécessaire de défendre par un parafoudre chacune des horloges secondaires attelées sur un

même fil de groupe; on peut admettre, en effet, que la zone de protection d'un de ces instruments adapté à l'un des cadrans s'étend aux horloges voisines reliées au même fil. Il est toutefois difficile de déterminer d'avance les dimensions de cette zone qui, d'ailleurs, varient suivant la nature et l'intensité du coup de foudre. En conséquence, pour éviter toute surprise désagréable, on opérera sagement en prévoyant dès le début, un parafoudre pour chaque horloge secondaire.



SECONDE PARTIE

ENREGISTREURS ÉLECTRIQUES

Généralités. — On comprend généralement sous la dénomination d'enregistreurs des appareils qui servent à fixer, à *enregistrer*, soit sur une feuille de papier, soit sur une surface noircie, les instants, la durée ou l'intensité d'un phénomène quelconque, naturel ou non, dont l'homme a intérêt à étudier les différentes phases.

Un enregistreur se compose essentiellement :

1° D'un *transmetteur* sur lequel agit directement ou indirectement le phénomène que l'on veut contrôler.

2° D'un *récepteur* sur lequel l'observateur fait la lecture des indications expédiées par le transmetteur.

Le récepteur lui-même se décompose comme suit :

a) Feuille de papier ou surface métallique recevant d'un train d'horlogerie convenablement réglé un mouvement régulier de translation.

b) *Traceur* (plume, crayon, burin ou pointe) chargé de dessiner sur la feuille les signes conventionnels (chiffres, courbes, ombres ou points) correspondant aux différentes phases du phénomène observé.

c) Dispositif qui, relié au transmetteur, agit sur le traceur de manière à lui faire produire les signes ci-dessus.

Lorsque l'enregistreur est électrique (ce qui arrive toujours quand la distance qui sépare le transmetteur du récepteur est trop grande pour que l'on puisse employer un lien mécanique consis-

tant en axes ou tiges d'une certaine longueur), c'est le courant électrique qui est chargé de l'expédition des indications au traceur. Le transmetteur devient alors un appareil à contacts, et le dispositif mentionné plus haut sous lettre *c* un électro-aimant dont l'armature réagit sur le traceur.

Les enregistreurs électriques peuvent se diviser en trois grandes classes :

A. Les *chronographes*, dont le but est surtout de marquer le commencement et la fin, et par conséquent aussi la durée et l'instant précis d'un phénomène rapide, abstraction faite de l'intensité ou autres particularités de ce phénomène.

Ils rendent de grands services en artillerie pour la mesure de la vitesse des projectiles (balistique) et de la rapidité d'inflammation de la poudre; en astronomie, pour la détermination de l'heure, pour celle des différences de longitude entre les différents points du globe, pour la formation des catalogues d'étoiles, etc.; en mécanique, pour l'étude du mouvement des organes d'une machine; en physique, pour la démonstration des lois de la chute des corps, la détermination de la vitesse de la lumière, etc.; en physiologie, pour la mesure de la rapidité de transmission des impressions aux centres nerveux, et dans une foule de cas trop longs à énumérer.

B. Les *enregistreurs météorologiques*, qu'on emploie pour l'observation continue et automatique des phénomènes naturels, tels que variations de la température, de la pression barométrique, vitesse et direction des vents, quantité de pluie tombée, tremblements de terre, etc.

C. Les *enregistreurs industriels et artistiques* (*). On peut faire rentrer dans cette catégorie tous les appareils qui ne trouveraient pas place dans les deux premières. Leur nom est légion. Citons au hasard :

Tous les appareils en usage dans les chemins de fer pour contrôler la marche et la vitesse des trains, ou les manœuvres des aiguilles et des signaux optiques ou acoustiques.

Les contrôleurs de ronde pour veilleurs de nuit.

(*) Nous avons emprunté à l'ouvrage de M. du Moncel sur les applications de l'électricité, cette classification qui est simple et rationnelle.

Les enregistreurs des variations du niveau de l'eau dans les réservoirs servant à l'alimentation des villes, ou dans les chaudières à vapeur.

Les enregistreurs des improvisations musicales, etc., etc.

Nous n'avons pas la prétention de passer en revue tous les enregistreurs électriques que nous venons de mentionner. Sans doute, dans chacun d'eux, la mesure du temps sert de base à l'enregistrement, mais comme cette mesure peut s'effectuer chez tous de la même manière, quelle que soit d'ailleurs l'adaptation des organes transmetteurs ou enregistreurs au phénomène à observer, quelques exemples bien choisis suffiront à faire comprendre les principes qui doivent guider dans la construction de n'importe quel enregistreur.

Nous vouerons cependant une attention spéciale aux plus intéressants d'entre eux : les chronographes.

CHAPITRE X

CHRONOGRAPHES ÉLECTRIQUES ET CHRONOSCOPES (*)

Dans les chronographes électriques, l'organe transmetteur des indications peut être absolument quelconque, et sa nature, qui varie avec chaque application particulière, n'a aucune influence sur celle du récepteur.

Nous nous bornerons donc à étudier ici les récepteurs chronographiques proprement dits, sans nous inquiéter de savoir si les transmetteurs qui peuvent les mettre en jeu sont automatiques ou non.

Tout récepteur d'enregistreur électrique consiste, avons-nous

(*) Bien que les instruments appelés *chronoscopes* ne rentrent pas dans la catégorie des enregistreurs, nous en parlerons dans ce chapitre à cause de la communauté de but qu'ils ont avec les chronographes. Les chronoscopes peuvent en effet être employés à la place des chronographes toutes les fois qu'un enregistrement n'est pas nécessaire, et que la simple indication d'une aiguille sur un cadran est suffisante.

dit, en une feuille de papier ou de métal recevant d'un train d'horlogerie un mouvement régulier de translation.

Pour les chronographes, la disposition de ces organes est ordinairement la suivante :

Un cylindre, aussi léger que possible, dont l'axe peut être vertical ou horizontal, a sa surface garnie d'une feuille de papier ou noircie au noir de fumée. Un train d'horlogerie, dont le moteur est un poids ou un ressort, produit le mouvement de rotation du cylindre. Le traceur est commandé par un électro-aimant, de telle façon que l'attraction de son armature provoque un léger déplacement de la pointe du traceur dans une direction parallèle à la génératrice du cylindre. Des courants intermittents animant l'électro-aimant auront donc pour effet de marquer sur la surface du cylindre une ligne sinueuse ou brisée.

Le traceur et son électro-aimant ne sont pas absolument fixes : ils sont montés sur un chariot pouvant rouler sur un chemin de fer ; une vis ou un système de renvois en relation avec le train d'horlogerie communique au chariot un mouvement lent de translation parallèlement à l'axe du cylindre. Il résulte de là que la ligne brisée tracée à la surface du cylindre est en *hélice*, ce qui permet d'employer toute la longueur du cylindre pour une ou plusieurs observations successives.

Le plus souvent, le chariot porte deux électro-aimants et deux traceurs ; l'un de ceux-ci est mis en relation avec le transmetteur (automatique ou non) chargé d'expédier les courants marquant le commencement et la fin du phénomène que l'on observe ; l'autre reçoit, d'une pendule bien réglée ou d'un diapason, des courants intermittents régulièrement espacés, qui provoquent le tracé d'une ligne brisée régulière juxtaposée à celle du premier traceur. On a ainsi un moyen facile et exact de relier au temps les indications relatives au phénomène observé.

Les différents systèmes de chronographes, dont nous allons décrire les plus intéressants, peuvent tous être ramenés en principe à la disposition que nous venons d'indiquer.

Les différences qu'il peut y avoir entre eux portent essentiellement :

a) Sur le moyen employé pour régulariser aussi exactement que possible le mouvement du train d'horlogerie.

b) Sur la forme et le mode de déroulement du papier enregistreur : le cylindre dont nous avons parlé tout à l'heure est souvent remplacé par une bande de papier sans fin qui est en provision sur une roue, et qui se déroule d'une manière analogue à celle employée chez les télégraphes Morse, ou bien aussi par un plateau circulaire horizontal mobile autour d'un axe vertical, et sur lequel le traceur se meut du centre à la circonférence suivant un rayon.

c) Sur la plus ou moins grande vitesse de la surface d'enregistrement. Cette vitesse qui, dans certains chronographes à mouvement lent, ne dépasse pas 5^{mm} par seconde, atteint chez certains appareils très sensibles 25^m par seconde. Avec ces derniers on a pu, prétend-on, apprécier les millièmes de seconde.

d) Sur la manière dont le traceur est impressionné par le courant électrique. Dans certains appareils, le traceur, au lieu d'être commandé par un électro-aimant, sert lui-même de conducteur à un courant de forte tension, et les traces fournies sont alors de simples points produits par l'étincelle électrique.

e) Enfin, sur la manière dont les traces fournies peuvent être rapportées à la mesure du temps. On peut, ou bien comme nous l'avons dit, employer un traceur des temps commandé par l'interrupteur d'une pendule à secondes ou par un électro-diapason, ou bien déterminer la position des traces chronographiques au moyen d'un compteur de tours, avec vernier pour les fractions de tour.

Dans les chronographes que nous allons décrire, les caractères essentiels qui mettent en relief les différences que nous venons d'énumérer se trouvent nettement accusés.

Chronographe à cylindre de M. Hipp. — Cet appareil, qui est à mouvement lent, est représenté par la figure 122. Le cylindre enregistreur se voit en *a*; le chariot *b*, qui porte deux électro-aimants, dont un se voit en *c* (l'autre étant caché par le premier), est mobile sur les deux rails *d* parallèles à l'axe du cylindre. Le mouvement d'horlogerie *e*, composé d'un certain nombre de mobiles, est à poids. Il fait tourner d'une part le cylindre *a* qui, pour

diminuer les résistances dues au frottement, roule sur des galets, d'autre part la vis *g* communiquant au chariot *b* son mouvement longitudinal de translation.

Chaque traceur consiste en une plume *f* dite à siphon, recourbée de manière à présenter deux branches, dont l'une, taillée en pointe, marque sur le papier les indications chronographiques, et dont l'autre plonge continuellement dans un petit réservoir d'encre à glycérine que l'on voit en *i*, et qui est disposé de telle façon que le niveau de l'encre soit légèrement au-dessus de l'extrémité traçante.

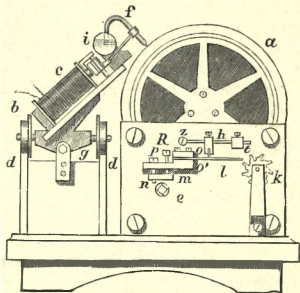


Fig. 122

Les deux branches sont naturellement reliées entre elles par un canal à section circulaire ou rectangulaire qui, d'après la loi du siphon, alimente d'une façon continue la pointe du traceur. Un levier, que l'on manœuvre à la main, permet d'éloigner les plumes du papier enregistreur lorsque le cylindre est au repos, et empêche ainsi la formation de taches qui se produiraient si la plume-siphon était en contact avec le papier immobile.

La partie la plus originale du chronographe de M. Hipp est incontestablement le régulateur à *lame vibrante* chargé d'uniformiser le mouvement du train d'horlogerie. Ce régulateur, d'une simplicité remarquable, est non seulement l'un des plus ingénieux qui aient été appliqués aux instruments de précision à mouvement continu, mais encore l'un de ceux qui fournit les résultats les plus satisfaisants. Il est représenté en *R*. Sur l'axe du dernier mobile du mouvement d'horlogerie est calée une roue dentée *k*. La lame vibrante *l*, qui est en acier trempé, et dont les dimensions sont calculées de manière à fournir par seconde un nombre de

vibrations en rapport avec la vitesse que doit avoir la roue k , est serrée par une de ses extrémités entre deux mâchoires o , o' , au moyen de deux vis; la mâchoire inférieure o' peut tourner autour d'une vis à portée m ; les deux vis p , dont les extrémités s'appuient sur un plot fixe n , servent à régler la position de o' , et permettent ainsi de rapprocher ou d'éloigner l'extrémité vibrante des dents de la roue k . La tige h , mobile autour de la vis z , porte une sourdine garnie de drap qui repose sur la lame et qui, pouvant être déplacée le long de celle-ci, permet de modifier légèrement le nombre des vibrations et par suite la vitesse du train d'horlogerie. Le contrepoids t donne une certaine inertie à la sourdine, et la rend capable de neutraliser les vibrations irrégulières qui pourraient se produire par suite de petites inégalités dans les dentures des rouages du train d'horlogerie.

Lorsque l'appareil est au repos, la roue dentée k est retenue par un ressort qui fait frein sur une de ses faces. Le levier qui permet de mettre en marche le mouvement d'horlogerie a trois fonctions :

a) Libérer la roue k en écartant le ressort-frein.

b) Éloigner pendant un instant la lame vibrante, de façon que son extrémité ne touche pas les dents de k , et que celle-ci défile à vide jusqu'à ce qu'elle ait dépassé la vitesse de régime.

c) Rapprocher brusquement de la roue k la lame vibrante l qui, sous l'influence des chocs successifs produits par les dents de la roue, entre en vibration et commence son rôle de régulateur de mouvement; ce rôle est tel qu'une dent passe à chaque vibration de la lame. Celle-ci donne alors une note continue semblable à celle d'une sirène, et il est facile de se rendre compte par l'oreille si l'appareil a bien la vitesse qu'il doit avoir.

La régularité de mouvement obtenue avec les lames vibrantes de M. Hipp ne laisse rien à désirer; elle est au moins égale, sinon supérieure, à celle des volants à ailettes de Villarceau. Aussi leur inventeur les a-t-il appliquées avec le plus grand succès à ses différents chronographes, à son chronoscope (que nous étudierons plus loin), et en général à tous les appareils réclamant un mouvement continu uniforme.

Les armatures des deux électro-aimants du chariot b réagis-

sent sur les plumes-siphons, de manière à faire tracer à celles-ci une ligne brisée à angles vifs qui, grâce au mouvement de translation du chariot, se déroule en hélice sur toute la surface du cylindre enregistreur. L'un des électro-aimants est mis en relation avec l'interrupteur à secondes d'une pendule, et la plume correspondante trace alors une ligne brisée à ressauts réguliers telle que *ef* (fig. 123); les distances *d*, toutes égales entre elles,

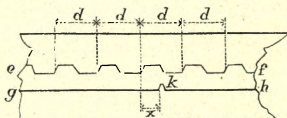


Fig. 123

intervalles quelconques des ressauts tels que *k*; ceux-ci marquent

les différentes phases du phénomène, et on relève leur position exacte en mesurant la distance *x* qui les sépare du commencement ou de la fin de la seconde la plus rapprochée. Le numéro d'ordre de cette seconde se déduit facilement en comptant le nombre de secondes écoulées depuis une seconde prise comme point de départ.

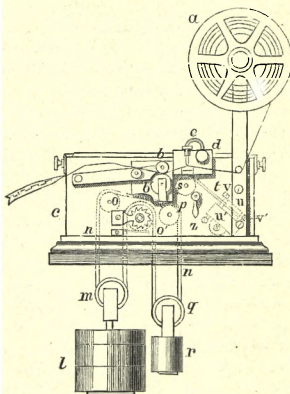


Fig. 124

Chronographe à bande de M. Hipp (fig. 124 & 125. — Cet appareil a l'aspect d'un télégraphe Morse. La bande de

papier en provision sur la roue *a* se déroule en passant entre les deux cylindres *b*, *b'*, dont l'un *b'* est calé sur l'un des mobiles du mouvement d'horlogerie contenu entre les platines *c*, *c'*. Les deux plumes, avec leur encrier-réservoir *d*, se voient en *e*; elles sont fixées aux extrémités de deux leviers horizontaux *f*, *f'*, articulés sur deux pièces coudées

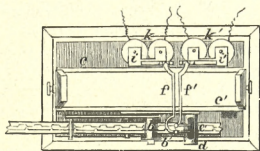


Fig. 125

faisant corps avec les armatures *i*, *i'*, des deux électro-aimants fixes *k*, *k'*. (Ici la bande de papier se déroulant d'une manière continue, on a pu supprimer le chariot mobile portant les électro-aimants.)

Le moteur du train d'horlogerie est un poids *l*, dont la poulie *m* est embrassée par une chaîne sans fin *nn*. Celle-ci, après avoir passé, comme l'indique la figure, sur les dents de la roue motrice *o*, sur celles de la roue de remontage *o'*, et sur la poulie-guide *p*, redescend pour embrasser la poulie *q* du contrepoids *r*. Cette disposition très ingénieuse du poids moteur permet de le remonter sans troubler la marche régulière de l'appareil, ce qui est d'une grande utilité lorsqu'on a à faire un grand nombre d'observations successives sans arrêt.

Le régulateur du train d'horlogerie est la lame vibrante de M. Hipp; il est contenu tout entier entre les deux platines *c*, *c'*, et est représenté en pointillé sur la figure 124; *s* est la roue d'échappement, *t* la lame vibrante, *u*, *u'*, les mâchoires réglables au moyen des vis *v*, *v'*, enfin *z* est la poignée du levier d'arrêtage et de mise en marche.

Les indications chronographiques sont d'ailleurs exactement semblables à celles du chronographe à cylindre ci-dessus décrit, et les deux électro-aimants *k*, *k'*, reliés de la même façon avec les interrupteurs correspondants.

Le chronographe à bande de M. Hipp, en raison de sa forme transportable et de son maniement commode, est très apprécié des astronomes; il a été employé, entre autres, par MM. Hirsch et

Plantamour pour la détermination des différences de longitude entre Genève et Neuchâtel, et par M. Loewy pour la même opération entre Paris et Vienne et entre Paris et Alger.

Récemment, M. Hipp y a adapté une détente électrique qui permet de le mettre en marche et de l'arrêter à distance; sous cette forme, il est en usage à l'observatoire de Pulkowa (Saint-Pétersbourg).

Chronographe de M. Marcel Deprez. — Ses caractères essentiels sont les suivants :

a) Grande vitesse de rotation du cylindre enregistreur : elle est de 8 à 10^{mm} par $\frac{1}{500}$ de seconde, soit 4 à 5^m par seconde.

b) Traceurs commandés par des électro-aimants de construction spéciale : ceux-ci sont tels que l'indication chronographique a lieu dès l'origine de l'action électro-magnétique; le temps perdu par la chute des armatures est alors aussi réduit que possible, et comme, d'autre part, la durée des aimantations et des désaimantations est, dans les électro-aimants de M. Marcel Deprez, inférieure à $\frac{1}{3000}$ de seconde, on peut admettre que les indications fournies sont, à peu de chose près, indépendantes de l'intensité des courants employés.

c) Emploi, pour la mesure du temps, d'un électro-diapason produisant 500 vibrations par seconde. Il est pourvu d'un traceur inscrivant, à côté des indications de l'électro-aimant ci-dessus, une courbe sinueuse dont chaque onde équivaut à $\frac{1}{500}$ de seconde. Les vibrations du diapason sont entretenues électriquement par deux électro-aimants à interrupteurs automatiques.

d) Compteur à vernier pour relever avec une grande précision l'espacement des traces.

e) Indicateur de vitesse à mercure permettant de contrôler à chaque instant la vitesse de rotation du cylindre.

f) Enfin, dispositif spécial au moyen duquel on peut corriger rapidement cette vitesse dans tous les cas où elle n'est pas ce qu'elle doit être.

La figure 126, empruntée à l'Exposé des applications de l'électricité, du comte Du Moncel, donne les parties principales de cet intéressant appareil.

a est le cylindre enregistreur à axe horizontal ; *bbb* sont les

électro-aimants enregistreurs au nombre de trois; ils sont très petits (leurs noyaux ont une longueur de 12^{mm} et une épaisseur de 2^{mm}), et peuvent être facilement déplacés le long d'une traverse *c*.

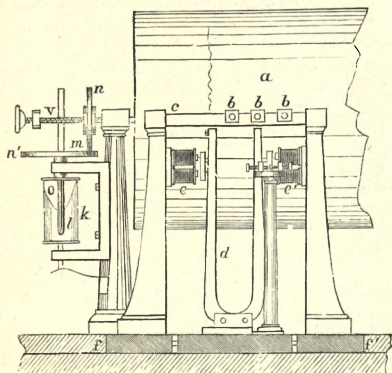


Fig. 126

L'électro-diapason est en *d*; *e* et *e'* sont les deux électro-aimants entretenant ses vibrations; la mise en activité du diapason se fait au moyen d'une simple fermeture du circuit de la pile reliée à ces électro-aimants, exactement comme dans le cas d'une sonnerie trembleuse d'appartement qu'on fait tinter en pressant le bouton qui la commande.

Le système traceur *b c d e* et *e'* est monté sur un chariot *ff''*, qui peut être mû parallèlement à l'axe du cylindre par une dérivation du mouvement d'horlogerie.

L'indicateur de vitesse consiste en un vase cylindrique en verre *k*, contenant une certaine quantité de mercure *l*, et auquel l'engrenage à frottement *m* (constitué par deux disques *n*, *n'*, dont l'un, *n*, est calé sur l'axe du cylindre *a*, et l'autre sur l'axe

du vase *k*) communique un mouvement de rotation. Plus ce mouvement est rapide, plus la surface du mercure se déprime et moins le niveau de ce liquide, dans le tube axial *o*, est élevé. Il est donc facile de suivre cette vitesse, et si, « en déplaçant, ainsi que
« l'écrivit M. du Moncel dans l'ouvrage déjà cité, à l'aide d'une vis *v*,
« le point de contact des deux disques *n*, *n'*, on fait varier la
« vitesse dont est animé le mercure jusqu'à ce que la colonne
« liquide ait atteint dans le tube un degré en rapport avec la
« vitesse du cylindre que l'on veut obtenir; on pourra juger, par
« l'amplitude du déplacement de ce point de contact, de la quan-
« tité dont on doit réduire ou augmenter l'action du régulateur du
« train d'horlogerie. »

Ce régulateur, qui est représenté dans la figure 127, n'est pas autre chose qu'un volant dont les ailettes *aaa* peuvent recevoir

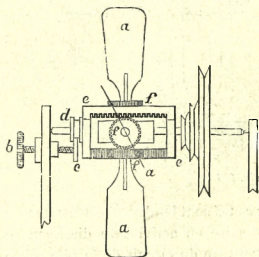


Fig. 127

une inclinaison différente lorsqu'on tourne dans un sens ou dans l'autre la vis *b*; en effet, la tige de cette vis porte un disque *c* qui, en se déplaçant longitudinalement avec elle, entraîne, par l'intermédiaire de la poulie à gorge *d*, une cage quadrangulaire *ee* formée par quatre crémaillères; celles-ci engrenent avec quatre roues *ff* calées sur les axes des ailettes *a*, et, en faisant tourner celles-

ci, ensuite de leur déplacement, changent leur inclinaison, et, par suite, modifient la vitesse du mouvement d'horlogerie.

Trois poulies de transmission, d'un diamètre différent, permettent encore de régler cette vitesse dans des proportions plus grandes.

Dans la figure 126, le mouvement d'horlogerie et le compteur à vernier ne sont pas représentés. Le premier n'a rien de spécial. Le second consiste en « une roue adaptée à l'axe du cylindre

« enregistreur. et qui engrène avec une vis sans fin munie d'un
« tambour divisé. En face de ce tambour est fixé le vernier, qui
« permet de mesurer les fractions de division avec une grande
« exactitude (*). »

Chronographes de MM. Siemens & Halske. — Ils se distinguent de ceux que nous venons de décrire par l'emploi, comme traceurs, de pointes métalliques qui, placées très près de la surface du cylindre enregistreur, laissent échapper, aux moments voulus, des étincelles électriques fournies par le courant à haute tension d'une bouteille de Leyde. Les traces ainsi obtenues, dit M. du Moncel, sont d'une finesse telles qu'elles peuvent se prêter à des mesures micrométriques très faciles et très précises; malheureusement, on ne peut compter avec certitude sur la stabilité du trait de feu, qui ne prend pas toujours le plus droit chemin de la pointe

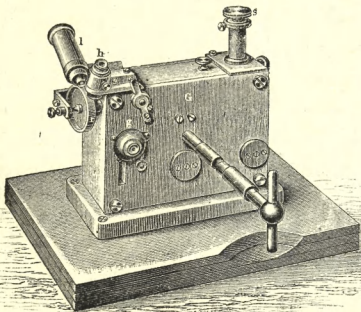


Fig. 128

à la surface de l'enregistreur; les indications ainsi fournies ne sont donc pas aussi exactes que la théorie pourrait le faire supposer.

Nous donnons, figure 128, une vue extérieure du chronographe

(*) Du MONCEL. *Exposé*, tome IV.

à grande vitesse de MM. Siemens et Halske. *G* est la cage de mouvement d'horlogerie (à poids ou à ressort); *r* est le cylindre enregistreur, dont la surface en acier poli reçoit les traces chrono-

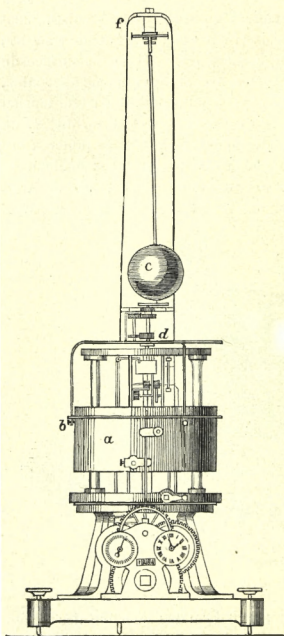


Fig. 129

cylindre *r*. Un tour du cadran correspond à un centième de tour de ce cylindre; on arrive ainsi à apprécier les dix-millièmes de secon-

nographiques, et qui tourne avec une vitesse de 100 tours par seconde. Un timbre *g* tinte à chaque centième de tour, battant ainsi la seconde permet de contrôler, par comparaison avec un chronomètre ou une pendule, la vitesse du chronographe. Lorsque cette vitesse n'est pas ce qu'elle doit être, on corrige au moyen de vis *s*, qui réagit sur le régulateur à ailettes.

La pointe réglable, laquelle sortent les étincelles électriques, est enfermée dans la boîte cylindrique *h* et est isolée par un tube de verre.

Une fois l'enregistrement effectué, on opère le relevé au moyen d'un appareil micrométrique placé derrière l'instrument. On vise par la loupe *l* les traces à relever, et la lecture se fait sur un cadran en divisions de la périphérie

Chronographe à induction de M. Martin de Brettes. — Il utilise, comme les précédents, l'étincelle électrique; mais ici, c'est une bobine de Rhumkorff qui fournit le courant à haute tension produisant cette étincelle. Le régulateur du mouvement d'horlogerie est un pendule conique. La figure 129 donne une vue d'ensemble de cet instrument. Le cylindre enregistreur *a*, dont l'axe est vertical, est fixe, et c'est la pointe traçante *b* qui tourne autour de lui d'un mouvement régulier. La tige *c*, portant cette pointe, est recourbée à angle droit et est reliée au mouvement d'horlogerie *d*, de telle façon qu'elle opère une révolution exacte en une seconde. Le pendule conique se voit en *e*; son extrémité supérieure est fixée au support *f* par une suspension à la Cardan, tandis que son extrémité inférieure réagit sur un bras horizontal qui a pour centre d'oscillation l'axe du cylindre *a*, et dans la rainure duquel glisse la tige du pendule à mesure que celui-ci, sous l'influence de la force centrifuge, s'écarte de la verticale.

Pour permettre l'enregistrement de plusieurs observations qui se succèdent, ou d'une observation durant plus d'une seconde, le cylindre vertical se déplace parallèlement à son axe au moyen d'un second mouvement d'horlogerie.

La surface du cylindre est recouverte d'un papier préparé au cyano-ferrure de potassium, sur lequel l'étincelle d'induction laisse des traces remarquablement nettes.

Chronoscope de M. Hipp. — Ainsi que nous l'avons déjà dit plus haut, le chronoscope permet, comme le chronographe, d'apprécier de très petits intervalles de temps; mais au lieu de les enregistrer en traces durables sur une surface *ad hoc*, il les indique d'une manière fugitive au moyen d'aiguilles se mouvant sur des cadrans divisés.

Le chronoscope de M. Hipp est le plus parfait et le plus répandu parmi les instruments de ce genre.

La figure 130 en donne une vue d'ensemble; les figures 131 & 132 font voir les détails du mécanisme.

Il se compose essentiellement :

1° D'un mouvement d'horlogerie *A*.

2° De deux aiguilles *B* et *C*, indiquant l'une les dixièmes, l'autre les millièmes de seconde.

3° De deux électro-aimants m et n , agissant sur une armature commune y , qui, suivant la position qu'elle occupe, retient les aiguilles au repos, ou bien les laisse participer au mouvement des rouages.

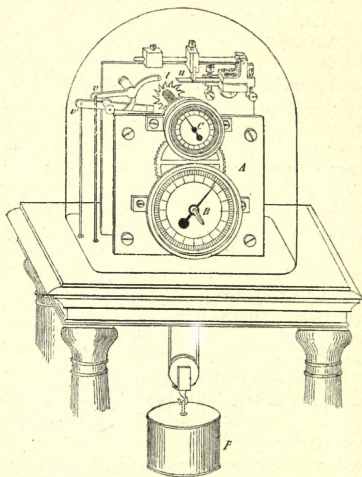


Fig. 130

Le mouvement d'horlogerie A est mû par un poids P , et réglé par une lame vibrante semblable à celle des chronographes de M. Hipp. Le poids P agit sur le tambour a ; b , c , d , e sont les divers pignons et roues dentées qui actionnent la roue d'échappement t sur laquelle réagit la lame vibrante.

L'axe de l'avant-dernier mobile e , qui est creux, porte à son extrémité antérieure la roue à couronne f' portant 100 dents. Dans l'intérieur de l'axe creux se trouve un axe plein, dont l'extrémité

antérieure porte l'aiguille *C* des millièmes de seconde, et un pignon transmettant le mouvement de cet axe à l'aiguille *B* des dixièmes de seconde, par l'intermédiaire des roues et des pignons qui sont entre les cadrans et la platine antérieure du mouvement d'horlogerie (fig. 131). Ce même axe plein porte une bride *x* qui peut être en prise soit avec la roue à couronne *f'* de l'axe creux, soit avec une seconde roue à couronne *f* placée en face de la première, mais fixée à la platine. Lorsque la bride est en prise avec *f'*, les deux aiguilles participent au mouvement des rouages *b, c, d, e, t*, et parcourent leurs cadrans; lorsque la bride est en prise avec la roue *f*, les aiguilles sont arrêtées.

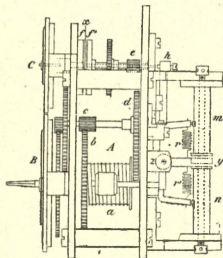


Fig. 131

C'est l'armature *y* qui, par l'intermédiaire du bras *h*, et en oscillant autour de l'axe *z*, entre les deux électro-aimants *m* et *n*, transmet à l'axe plein, et par suite à la bride *x*, le petit mouvement longitudinal produisant la mise en marche ou l'arrêt des aiguilles;

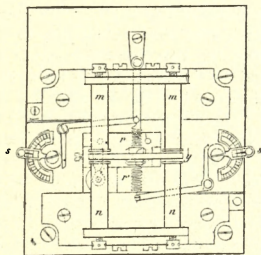


Fig. 132

r et *r'* sont deux ressorts antagonistes agissant sur l'armature *y*; on peut les régler au moyen des excentriques à levier *s* et *s'*.

Le levier *v* sert à mettre en marche le mouvement d'horlogerie; grâce à une combinaison de ressorts, la manœuvre de ce levier, en même temps qu'elle donne la liberté à la roue d'échappement *t*,

lui donne une vive impulsion qui fait entrer la lame vibrante u en oscillation, et fait intervenir immédiatement la vitesse de régime.

Le levier v' arrête, lorsqu'on le tire, la marche des rouages. Les électro-aimants m et n , dont on a supprimé les bobines sur le dessin, afin de ne pas le surcharger, sont mis en relation, au moyen de fils électriques, avec les interrupteurs qui sont chargés d'établir ou de couper le circuit de la pile au commencement et à la fin du phénomène dont on veut mesurer la durée exacte.

Si, par exemple, on intercale l'électro-aimant supérieur m dans le circuit de la pile, et qu'on tende le ressort antagoniste r' , un courant lancé dans m attirera l'armature y et arrêtera les aiguilles, tandis que l'interruption de ce courant aura pour effet de les laisser tourner.

Si le courant agit sur l'électro-aimant inférieur n et si l'on tend le ressort r , ce sera l'interruption du courant qui produira l'arrêt des aiguilles, et sa fermeture qui provoquera leur mise en marche.

Il est facile de disposer les interrupteurs du courant de manière que les aiguilles soient arrêtées avant le commencement du phénomène à mesurer, qu'elles soient mises en marche au moment précis où il commence, et qu'elles soient de nouveau arrêtées au moment où il cesse.

Ces interrupteurs doivent naturellement être mis en jeu automatiquement; ainsi, s'il s'agit de mesurer le temps que met un projectile à parcourir une certaine distance, ou un corps à tomber d'une certaine hauteur, ce sera le projectile lui-même et le corps pesant qui produiront, au départ et à l'arrivée, les fermetures ou les ruptures du courant actionnant les aiguilles du chronoscope.

La perfection du régulateur à lame vibrante est telle qu'une série d'expériences, faites dans les mêmes conditions, ne donne pas un écart supérieur à $\frac{3}{1000}$; en faisant un grand nombre d'expériences, lorsque cela est possible, et en prenant la moyenne des résultats, on arrive aisément à une approximation de $\frac{1}{1000}$ de seconde.

Pendule à étoile artificielle. — Nous terminerons ce chapitre en décrivant à titre d'exemple l'une des applications les plus intéres-

santes des chronographes et chronoscopes, laquelle consiste à déterminer l'intervalle de temps relativement court qui s'écoule entre l'instant où un phénomène astronomique (passage d'une étoile dans l'axe de la lunette méridienne, par exemple) a lieu, et l'instant où la personne qui observe presse le bouton électrique chargé d'enregistrer sur le chronographe le moment de ce phénomène.

Cet intervalle, auquel les astronomes ont donné le nom d'*équation personnelle*, varie naturellement avec chaque opérateur. Il dépend au plus haut degré de son tempérament; en outre, pour une même personne, il se modifie suivant les conditions physiologiques et même psychologiques dans lesquelles elle se trouve. Ainsi l'équation personnelle d'un observateur varie suivant qu'il est à jeun ou qu'il vient de manger, selon qu'il a l'esprit calme ou qu'il est sous l'empire d'une forte émotion, qu'il vient de se reposer ou qu'il est fatigué par un travail intellectuel récent.

Voici l'appareil que M. Hipp a construit pour l'étude des équations personnelles, et qu'il a appelé *pendule à étoile artificielle*, nom qu'explique suffisamment la description suivante.

Un montant en fer *a* (fig. 133 & 134), construit de manière à pouvoir être fixé solidement contre un mur vertical, porte les supports *b'* et *c'* de deux pendules *b* et *c* pouvant osciller dans deux plans verticaux parallèles. L'un d'eux *b*, qui a son axe d'oscillation placé en *b'* à la moitié de la hauteur du montant *a*, porte deux lentilles *e e'* placées de part et d'autre de l'axe *b'*, et son mouvement d'oscillation est entretenu par un mouvement d'horlogerie dont on voit en *f* la cage, et qui est muni d'un échappement et d'un régulateur. L'autre pendule *c*, qui a son axe d'oscillation en *c'* à la partie inférieure du montant *a*, porte à son extrémité supérieure un écran *h* percé en son centre d'une étroite ouverture verticale *i*. En *k*, les tiges des deux pendules sont construites en forme de cadres, de manière à faire place au support *b'* du pendule *b*. Les positions relatives des deux pendules, ainsi que leur verticalité à l'état de repos, sont facilement réglables au moyen des vis et des écrous *k*.

Le pendule *c* à écran peut être entraîné par le pendule *b* au moyen de la pièce de jonction *l*, dont les entailles embrassent en *m*

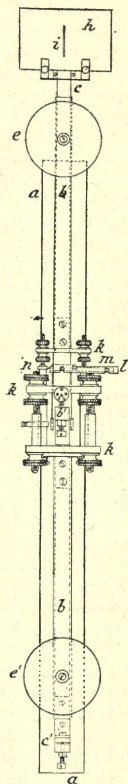


Fig. 133

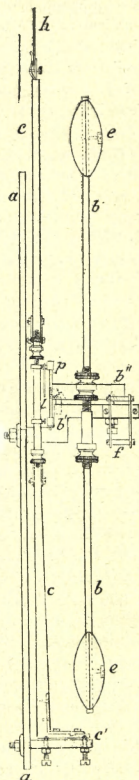


Fig. 134

un pivot porté par la pièce réglable n du pendule c , et en o un pivot semblable porté par la pièce également réglable p oscillant avec le pendule b . La pièce de jonction l peut indifféremment être placée au-dessus ou au-dessous de l'axe d'oscillation du pendule b , ce qui permet de faire varier dans une certaine mesure l'amplitude des mouvements de l'écran h . Quant à la rapidité des oscillations des pendules, elle est réglable dans des limites étendues au moyen des deux lentilles e e' , qui peuvent glisser tout le long des deux parties de la tige du pendule b .

Au mouvement d'horlogerie f est adapté un contact électrique qui est organisé de façon à être fermé par le pendule b , au moment précis où l'ouverture de l'écran h se trouve dans la verticale passant par l'axe du montant a . Ce contact ferme le circuit de l'un des électro-aimants d'un chronographe Hipp. L'autre électro-aimant est commandé par le bouton que tient à la main la personne dont on veut déterminer l'équation personnelle. Derrière l'écran se trouve une source de lumière quelconque.

On place l'opérateur en face des deux pendules au repos, de telle façon que le rayon lumineux ne puisse arriver à son œil qu'au moment précis où le contact commandé par le pendule b commence à se fermer.

Ceci fait, on met en oscillation les pendules, et on invite l'opérateur à presser son bouton électrique toutes les fois qu'il perçoit le rayon lumineux.

Le chronographe, qui a été préalablement mis en marche, enregistre alors les deux signaux produits, l'un, automatiquement, par le contact du pendule b , l'autre, physiologiquement, par la main de l'opérateur. Le retard du second signal sur le premier donne en centièmes ou en millièmes de seconde la valeur de l'équation personnelle cherchée.

CHAPITRE XI

ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES

Les inventeurs qui se sont occupés de l'enregistrement électrique des phénomènes météorologiques ont suivi des voies différentes : les uns se sont contentés de construire des appareils spécialement affectés à tel ou tel phénomène, et c'est ainsi qu'ont vu le jour les différents systèmes de *barométrographes*, de *thermométrographes*, d'*anémographes*, etc. ; les autres ont voulu réunir sur un seul et même instrument toutes les indications se rapportant à la météorologie, et ont créé les *météorographes*, chez lesquels ces indications sont reçues sur une même feuille d'enregistrement (le père Secchi, van Rysselberghe, Théorell d'Upsal, etc.).

Dans les deux cas, la difficulté principale consiste à trouver un dispositif qui puisse actionner le *traceur* chargé d'inscrire les signes conventionnels sur le papier enregistreur, sans compromettre le jeu régulier, et surtout sans fausser les indications d'instruments délicats, tels que baromètres anéroïdes ou à mercure, thermomètres, hygromètres, etc.

Cette difficulté a été résolue d'une façon plus ou moins heureuse par les constructeurs. Comme elle change de nature avec chaque espèce d'appareil, nous ne pouvons mentionner tous les mécanismes qui ont été proposés et exécutés. L'exemple suivant, auquel nous nous bornerons, donnera une idée de la manière ingénieuse dont M. Hipp a résolu le problème dans le cas du barométrographe.

Barométrographe de M. Hipp. — La figure 135 représente cet appareil en élévation et en plan.

aa est une double boîte anéroïde sur laquelle réagissent les variations de la pression atmosphérique. Les mouvements du centre de cette boîte sont transmis par l'intermédiaire d'une

pièce *b* à un levier *c* dont l'extrémité porte une petite tige verticale *d*; celle-ci est attachée au bras *e* d'un axe horizontal à cou-
teaux *f*; un second bras *g* de cet axe transmet le mouvement de
tout ce système à un cordon qui s'enroule autour d'une poulie *h*
fixée à l'axe vertical *i* du levier enregistreur *k*. L'axe *i* pivote très
librement entre pointes.

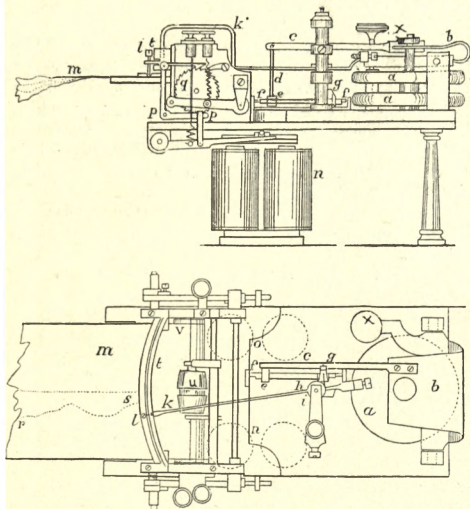


Fig. 135

On voit que cette disposition a pour résultat de traduire les
variations de pression par un écart angulaire plus ou moins grand
du levier *k*. L'extrémité de ce levier porte une vis à pointe *l*, et
se meut au-dessus du papier enregistreur *m*.

Deux électro-aimants *n* et *o* ont pour fonction, l'un, *n*, de faire avancer la bande de papier (par l'intermédiaire du levier *p* et du rochet *q* calé sur l'axe du cylindre moteur *v*); l'autre, *o*, de donner sur la pointe *l* les *coups de marteau* qui impriment sur le papier les points dont la succession constitue la courbe de pression *rs*. Ces coups de marteau se donnent par l'intermédiaire du châssis à rainure arquée *t*.

Le levier enregistreur *k* est aussi libre que possible et peut, par conséquent, suivre dans leurs moindres nuances les variations de la pression atmosphérique. En effet, les coups de marteau qui enregistrent les différentes positions de la pointe *l*, et qui ont lieu à intervalles réguliers, ne durent qu'une seconde au plus; ils n'ont donc aucune influence sur la position du levier *k*. On voit en *u* le cylindre de pression assurant l'entraînement de la bande de papier; *x* est une vis qui permet de régler le baromètre d'après la moyenne du lieu où il est installé.

C'est une pendule électrique de M. Hipp qui envoie dans les électro-aimants *n* et *o* les émissions de courant chargées de les actionner.

Pour cela, le mouvement de cette pendule est muni d'un

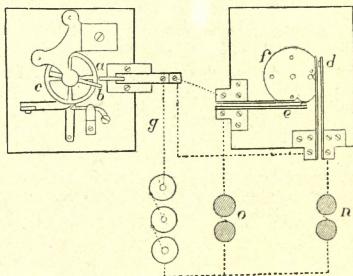


Fig. 136

contact *a* (fig. 136), qu'un doigt *b* adapté à la roue d'échappement *c* ferme toutes les minutes pendant une seconde.

Deux autres contacts *d* et *e*, que la roue des minutes *f* ferme toutes les dix minutes (ou tous les quarts-d'heure, ou même toutes les heures, suivant la fréquence des enregistrements que l'on veut avoir), sont reliés l'un à l'électro-aimant moteur du papier *n*, l'autre à l'électro-aimant enregistreur *o*.

Le contact *a* est intercalé dans le fil de retour *g*, et agit quel que soit celui des deux contacts *d* ou *e* qui soit en fonction; c'est donc l'interrupteur proprement dit.

Les contacts *d* et *e* sont fermés alternativement, de manière à ne faire avancer la bande de papier que peu après le coup de marteau. Toutes les heures, ou quelquefois toutes les six heures, l'électro-aimant moteur du papier agit deux fois de suite à intervalles rapprochés, afin de briser la courbe de pression par un espace blanc destiné à faciliter le relevé des temps.

Le *thermométrographe* de M. Hipp est d'une construction tout à fait analogue à celle du barométrographe; l'organe sensible aux variations de température est alors une spirale bi-métallique (acier et laiton) dont une extrémité est fixe, et dont l'autre extrémité réagit sur un axe transmettant son mouvement au levier enregistreur.

La même pendule électrique peut naturellement actionner plusieurs barométrographes et thermométrographes intercalés en dérivation, et cela au moyen des mêmes contacts.

A cette occasion, il n'est pas inutile de rappeler ici ce que nous disions au commencement de la partie pratique de cette étude : un des grands avantages des pendules électriques de M. Hipp est de permettre d'actionner d'un point central convenablement choisi toutes sortes d'appareils très divers. Il suffit pour cela d'adapter au mouvement les contacts voulus.

Cette propriété est précieuse, précisément lorsqu'il s'agit de maintenir en marche simultanée un certain nombre d'enregistreurs météorologiques distribués dans les différentes parties d'un observatoire. L'ensemble d'un tel système constitue alors un véritable *météorographe*, non pas, il est vrai, semblable à ceux où les différents phénomènes viennent s'enregistrer sur une seule et même feuille de papier, mais telles que toutes ses parties, mécaniquement indépendantes les unes des autres, peuvent à volonté

être exclues, transportées, modifiées, augmentées, sans nuire à la marche régulière du système.

CHAPITRE XII

ENREGISTREURS INDUSTRIELS ET ARTISTIQUES

Ainsi que nous l'avons déjà dit, le nombre des appareils rentrant dans cette catégorie est infini; nous ne citerons ici qu'un seul exemple, en renvoyant les lecteurs qui s'intéressent particulièrement à ce genre d'instruments aux livres spéciaux et aux journaux scientifiques.

Enregistreurs des niveaux d'eau de M. Hipp. — Le problème qui consiste à fournir à distance et d'une manière continue des indications sur la quantité d'eau en provision dans les réservoirs d'alimentation d'une ville a été résolue de différentes manières; la solution trouvée par M. Hipp est une des plus simples et des plus pratiques. Son principal avantage consiste dans le fait que la pile actionnant les électro-aimants du récepteur n'est en activité que pendant le temps strictement nécessaire à la transmission des indications. Si donc le niveau de l'eau reste le même pendant longtemps, le circuit reste ouvert, et il n'y a point de dépense inutile du courant. Deux fils relient le transmetteur au récepteur, l'un pour les indications correspondant à une baisse, l'autre pour celles correspondant à une hausse du niveau de l'eau; le retour du courant s'effectue ordinairement par la terre, ou par la conduite d'eau du réservoir si elle est métallique.

Transmetteur. — Les figures 137 & 138 donnent, l'une une vue latérale, l'autre une vue de face du transmetteur.

Suivant que le niveau de l'eau monte ou descend, le flotteur *A*, avec le concours du contrepoids *B*, fait tourner le tambour *b* et son axe *c* dans un sens ou dans l'autre. Un disque calé sur l'axe *c* porte quatre goupilles *f* qui peuvent faire contact avec l'extrémité du ressort *n*. En avant du montant antérieur de l'appareil se

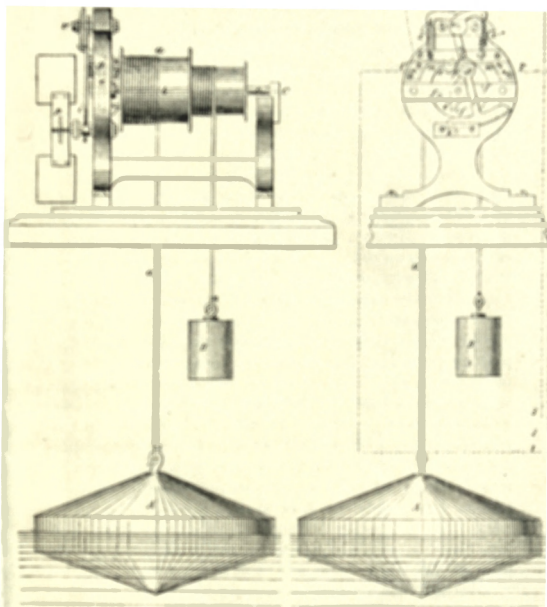


Fig. 137

Fig. 138

trouve un levier *l*, dont l'extrémité inférieure en arc de cercle est dentée et engrène avec un pignon *A*. Ce levier *l*, dont l'axe est en *e*, porte vers son milieu une dent *g* de forme triangulaire qui est rencontrée par un double bras *c*, calé sur l'axe *e* quand ce

dernier tourne dans un sens ou dans l'autre. Deux forts ressorts x et x' , agissant par l'intermédiaire de deux leviers à axes concentriques et d'une goupille, tendent à maintenir et, éventuellement, à ramener dans la position verticale le levier i . Ce dernier porte enfin une goupille l pouvant faire contact avec le ressort m ou le ressort m' , suivant que i est incliné à gauche ou à droite. La position relative des goupilles f et du double bras e sur l'axe c est telle, que l'une quelconque de ces goupilles f ne puisse pas encore toucher le ressort n , lorsque la goupille l , participant au mouvement d'ascension lente du levier i , frotte contre l'un ou l'autre des ressorts m et m' . Par contre, au moment de la chute du levier i , chute qui se produit lorsque la dent g est abandonnée par la pointe du bras e , une des goupilles f est en contact avec n , et cela au moment où la goupille l frotte contre l'un des ressorts m et m' . Or, l'interrupteur fn est intercalé dans le même circuit que l'un ou l'autre des interrupteurs lm ou lm' ; ce n'est donc que lorsque fn et lm (respectivement lm') sont fermés *en même temps* que le courant circule. Comme cette fermeture simultanée ne peut se produire que pendant la chute du levier i , c'est-à-dire pendant un temps dont la durée est complètement indépendante de la plus ou moins grande rapidité de variation du niveau de l'eau, le problème qu'on se proposait est résolu. Le volant p , monté sur l'axe du pignon engrenant avec la partie dentée du levier i , règle la rapidité de la chute et par suite la durée du contact. Le ressort m est relié à l'un des fils allant au récepteur, et n'est en activité que pour les variations de l'eau dans un sens; le ressort m' est relié à l'autre fil, et transmet les indications correspondant aux variations dans l'autre sens. L'interrupteur commun n est relié à l'un des pôles de la pile, dont l'autre pôle va au fil de retour.

Dans le dessin qui accompagne cette explication, le diamètre du tambour b , le nombre des goupilles f et des pointes du bras multiple e sont tels, qu'un contact se produit pour chaque variation de 0^m10. On pourrait naturellement changer ces organes de façon à indiquer des variations de n'importe quelle hauteur.

Dans des appareils plus récemment construits, M. Hipp remplace le tambour b par une roue dentée engrenant avec une chaîne

de Galle, dont les extrémités portent directement, l'une le flotteur, l'autre son contrepoids.

Récepteur. — Il peut être simplement indicateur, ou à la fois indicateur et enregistreur; la figure 139 donne une vue antérieure d'un appareil de ce dernier type.

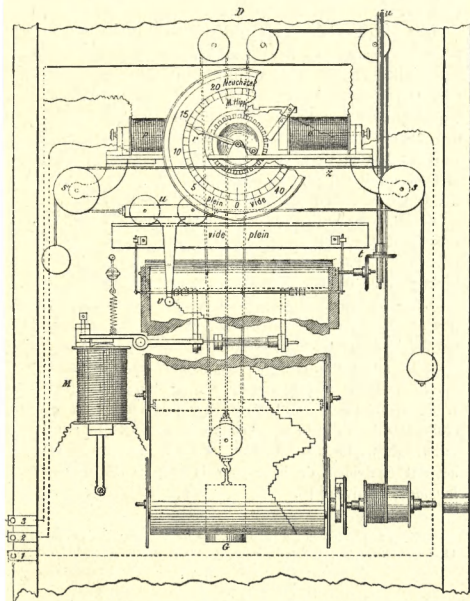


Fig. 139

Les deux fils venant du transmetteur sont reliés aux deux électro-aimants horizontaux *p* et *o*, qui ont un fil commun relié

de Galle, dont les extrémités portent directement, l'une le flotteur, l'autre son contrepoids.

Récepteur. — Il peut être simplement indicateur, ou à la fois indicateur et enregistreur; la figure 139 donne une vue antérieure d'un appareil de ce dernier type.

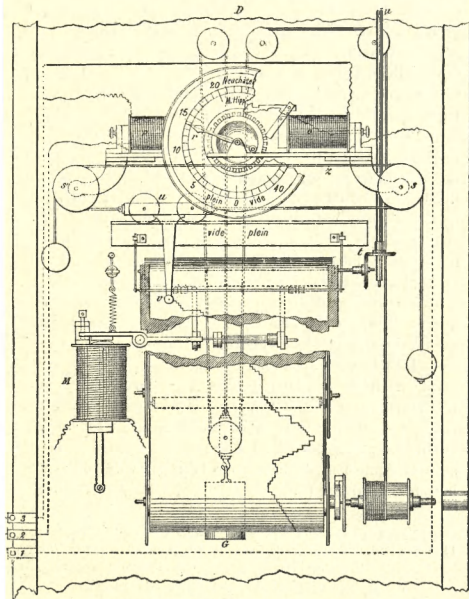


Fig. 139

Les deux fils venant du transmetteur sont reliés aux deux électro-aimants horizontaux *p* et *o*, qui ont un fil commun relié

au fil de retour. Leurs armatures réagissent par le moyen de cliquets d'impulsion sur une roue dentée, sur l'axe de laquelle est calée l'aiguille indicatrice r . Suivant que le réservoir se vide ou se remplit, l'aiguille tourne dans un sens ou dans l'autre, indiquant, sur un cadran gradué en décimètres ou en centimètres, la hauteur de l'eau.

L'axe de cette même roue porte une roue à gorge, dans laquelle passe un cordon z dont les extrémités, après s'être enroulées autour des poulies-guide s et s' , viennent s'attacher au chariot u . Ce dernier porte une pointe v pouvant marquer des points sur le papier enregistreur. La succession de ces points forme une courbe dont les ordonnées (transversales au mouvement du papier) donnent les hauteurs de l'eau, et dont les abscisses (parallèles au mouvement du papier) sont les temps. Le papier enregistreur est une bande sans fin dont le moteur est le poids G , et dont la vitesse de déroulement (ordinairement 3^{mm} par heure) est réglée par les roues coniques t et l'axe vertical u , en relation avec le mouvement d'horlogerie d'une pendule électrique Hipp placée au-dessus de l'enregistreur et non représentée dans la figure 139.

L'électro-aimant M reçoit de la pendule électrique tous les quarts-d'heure, demi-heure ou heures, des courants dont l'effet est de faire mouvoir le mécanisme chargé de frapper sur la pointe v . Dans les nouveaux appareils, la pointe v a été remplacée par une pointe à siphon traçant à l'encre rouge une courbe continue. L'électro-aimant M a été supprimé et remplacé par une roue à étoile entraînée par le mouvement d'horlogerie, et marquant sur le bord du papier des points et des traits donnant les temps, et servant également de base pour la mesure des ordonnées de la courbe de niveau (*).

(*) Nous avons reproduit, d'après le journal *la Lumière électrique*, livraison du 11 février 1882, la description de l'enregistreur des niveaux d'eau de M. Hipp.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DE LA PREMIÈRE ÉDITION	5
Id. DEUXIÈME ÉDITION	7

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

I. SOURCES D'ÉLECTRICITÉ	9
Piles électriques	11
Id. de Volta	13
Id. à charbon	14
Id. Leclanché	14
Id. Daniel	14
II. EFFETS DES COURANTS ÉLECTRIQUES	15
Electro-magnétisme	16
Action des courants sur les aimants	16
Aimantation par les courants	17
Électro-aimants	18
Id. à armatures polarisées	19
Interrupteurs	20
Renverseurs de courant	20
Extracourants	21
III. LOIS DES COURANTS ÉLECTRIQUES	22
Circuits électriques	23
Corps conducteurs et isolants	23
La terre comme chemin de retour du courant	24
Intensité des courants: force électro-motrice, résistance	25
Loi d'Ohm	26
Loi des courants dérivés ou bifurqués	29
Différents groupements des éléments de pile	30
Loi des électro-aimants	32

IV. MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES.	33
Unités électriques	33
Instruments de mesure	35
Mesure des résistances: méthode de substitution, méthode du galvanomètre différentiel, méthode du pont de Wheatstone.	38
Mesure de la résistance intérieure des piles.	42
Id. de la force électro-motrice des éléments de pile.	44
Id. des intensités	45

APPLICATIONS A LA CHRONOMÉTRIE

INTRODUCTION	47
------------------------	----

PREMIÈRE PARTIE

HORLOGERIE ÉLECTRIQUE PROPREMENT DITE

CHAPITRE I ^{er} . CLASSIFICATION.	49
CHAPITRE II. HORLOGES ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES.	51
Horloges électro-magnétiques à remontoir	54
Id. à réactions directes	58
Id. id. indirectes	68
CHAPITRE III. SYSTÈMES D'UNIFICATION DE L'HEURE PAR L'ÉLECTRICITÉ.	70
Généralités	70
Organes essentiels d'un système d'unification de l'heure.	73
<i>Compteurs électro-chronométriques</i>	83
Id. à doubles cliquets d'impulsion.	84
Id. à armatures polarisées.	84
<i>Horloges secondaires à déclenchement électrique</i>	90
<i>Remise à l'heure</i>	92
<i>Synchronisation des pendules</i>	95
CHAPITRE IV. HORLOGES-MÈRES.	98
CHAPITRE V. MAINTIEN A L'HEURE DES HORLOGES-MÈRES	110
<i>Système par synchronisation</i>	111
Id. par remise à l'heure	113
Id. mixte	114
Id. non automatique	118

CHAPITRE VI.	VUE D'ENSEMBLE D'UN SYSTÈME COMPLET D'HEURE UNIFIÉE . .	120
	<i>A. Centre général.</i>	122
	<i>B. Centre secondaire de Neuchâtel-ville.</i>	126
CHAPITRE VII.	CONTRÔLE ET CORRECTION DES FAUTES DES COMPTEURS ÉLECTRO-CHRONOMÉTRIQUES	130
CHAPITRE VIII.	RENSEIGNEMENTS PRATIQUES CONCERNANT UN RÉSEAU PUBLIC D'HORLOGES ÉLECTRIQUES	136
	<i>Études préliminaires</i>	136
	Calcul de la pile	139
	Horloges secondaires	140
	<i>Installation du réseau.</i>	144
	Id. des fils conducteurs	145
	Fils intérieurs	145
	Id. extérieurs	146
	Câbles souterrains	146
	Fils aériens	146
	Communications à la terre	147
	<i>Mise en marche du réseau.</i>	148
	<i>Entretien du réseau.</i>	151
	Id. du régulateur	152
	Id. des piles	153
	Id. des fils	154
	Id. des horloges secondaires	155
	<i>Recherche et correction des défauts affectant la marche du réseau.</i>	155
CHAPITRE IX.	APPAREILS DESTINÉS A ÉVITER LA DÉTÉRIORATION DES ORGANES ÉLECTRIQUES PAR LES COURANTS D'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE	160

SECONDE PARTIE

ENREGISTREURS ÉLECTRIQUES

	GÉNÉRALITÉS	165
CHAPITRE X.	CHRONOGRAPHES ÉLECTRIQUES ET CHRONOSCOPES	167
	Chronographe à cylindre de M. Hipp.	169
	Id. bande id.	172
	Id. de M. Marcel Deprez	174

Chronographe de MM. Siemens et Halske	177
Id. à induction de M. Martin de Brettes.	179
Chronoscope de M. Hipp	179
Pendule à étoile artificielle	182
CHAPITRE XI. ENREGISTREURS MÉTÉOROLOGIQUES	186
Baromètregraphe de M. Hipp	186
CHAPITRE XII. ENREGISTREURS ISOTHERMIQUES ET ACTUOMIQUES	190
Enregistreurs des niveaux d'eau de M. Hipp.	190

