

nerons plus tard une définition précise. Le jour se subdivise en 24 heures, l'heure en 60 minutes, et la minute en 60 secondes. Les horloges astronomiques marquent les heures, les minutes et les secondes, au moyen de trois aiguilles qui se meuvent sur un

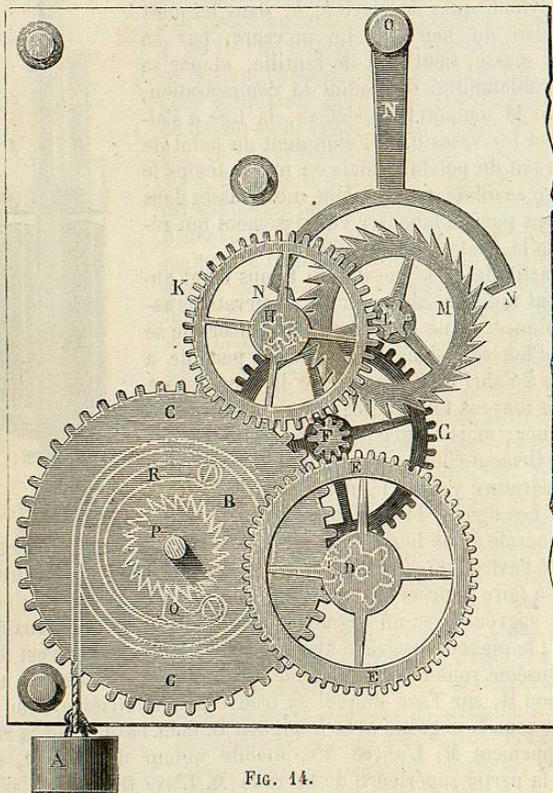


FIG. 14.

même cadran, de telle manière que, à la seule inspection de ce cadran, on puisse voir immédiatement combien il s'est écoulé d'heures, de minutes et de secondes depuis le moment à partir duquel on compte le temps. Pour cela, on donne au pendule une longueur telle que la durée de chacune des oscillations soit précisément d'une seconde. Comme on ne peut pas espérer que cette

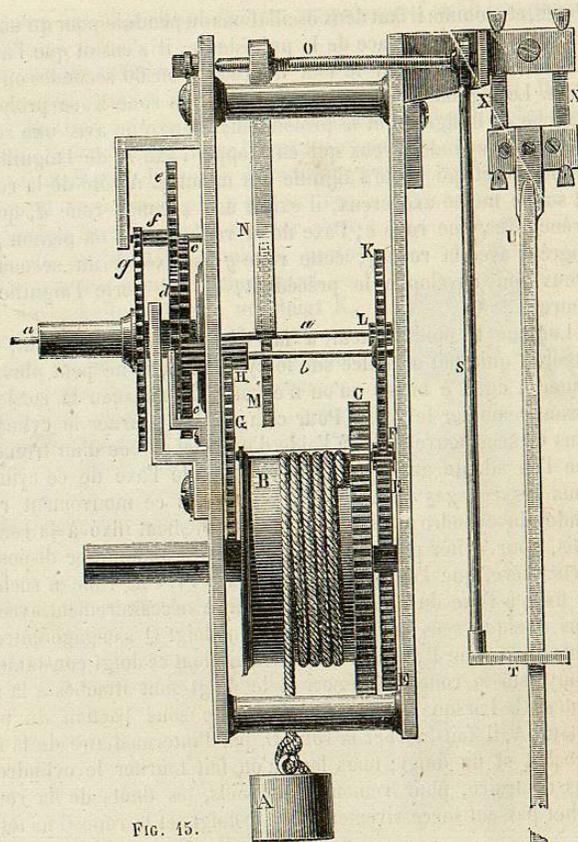


FIG. 15.

condition soit tout de suite exactement remplie, quelque soin que l'on apporte à donner au pendule les dimensions convenables, on se réserve la possibilité d'y arriver après coup, en élevant ou abaissant un peu la lentille le long de la tige au moyen d'un écrou qui se visse sur l'extrémité de la tige et qui supporte la lentille. L'axe *a* de la roue d'échappement (fig. 15) traverse le centre du cadran, qui n'est pas représenté ici, et porte l'aiguille des secondes à son extrémité. La roue d'échappement est munie de trente



dents, et, comme il faut deux oscillations du pendule pour qu'une dent vienne prendre la place de la précédente, il s'ensuit que l'aiguille des secondes fait tout le tour du cadran en 60 secondes ou 1 minute. Le pignon H, porté par l'axe *b* de la roue K, se prolonge à gauche de la figure; et le prolongement engrène avec une roue *c*, fixée à un cylindre creux qui enveloppe l'axe *a* de l'aiguille des secondes, et qui porte l'aiguille des minutes. A côté de la roue *c*, et sur le même axe creux, il existe une seconde roue *d*, qui engrène avec une roue *e*; l'axe de la roue *e* porte un pignon *f*, qui engrène avec la roue *g*; cette roue *g* est fixée à un second axe creux, qui enveloppe le précédent, et qui porte l'aiguille des heures.

Lorsque le poids moteur a fait dérouler, en descendant, toute la corde qui était enroulée sur le cylindre B, il ne peut plus continuer à agir, à moins qu'on n'enroule de nouveau la corde, en faisant remonter le poids. Pour cela, on fait tourner le cylindre B dans un sens convenable, à l'aide d'une clef percée d'un trou carré que l'on adapte au prolongement carré de l'axe de ce cylindre. Tous les rouages seraient entraînés dans ce mouvement rétrograde du cylindre B, s'il était invariablement fixé à la roue C; mais, pour éviter qu'il n'en soit ainsi, on a adopté une disposition particulière, que l'on voit sur la figure 14. Une roue à rochet P est fixée à l'axe du cylindre B, et tourne nécessairement avec lui, dans quelque sens qu'il se meuve. Un doigt Q s'engage entre les dents de la roue P; et un ressort R maintient ce doigt constamment appuyé sur la roue. Le ressort et le doigt sont attachés à la roue dentée C. Lorsque le cylindre B tourne sous l'action du poids moteur A, il fait tourner la roue C, par l'intermédiaire de la roue à rochet et du doigt; mais lorsqu'on fait tourner le cylindre en sens contraire, pour remonter le poids, les dents de la roue à rochet passent successivement sous le doigt, et la roue C ne tourne pas.

Le mode de liaison qui vient d'être indiqué, entre le cylindre B et la roue C, permet de remonter le poids moteur, ou, comme on dit, de remonter l'horloge, sans faire prendre un mouvement rétrograde aux aiguilles. Mais pendant toute la durée du remontage, elles restent stationnaires, et elles ne recommencent à marcher lorsque le montage est terminé; il en résulte, dans les indications de l'horloge, une discontinuité qui aurait de grands inconvénients pour les observations astronomiques; aussi a-t-on cherché à la faire disparaître, c'est-à-dire à faire en sorte que l'horloge continue sa marche, même pendant qu'on la remonte. La figure 16

montre une des dispositions les plus simples que l'on ait imaginées pour cela.

Deux poulies mobiles A et B sont soutenues par une corde sans fin, qui passe dans les gorges de deux poulies fixes C et D. Deux poids, P, *p*, sont accrochés à ces deux poulies mobiles. Le plus fort des deux, P, tend à entraîner la corde; et comme les gorges des poulies C et D sont disposées de manière que les cordons qui les embrassent ne puissent pas y glisser, ces deux poulies fixes tendent à tourner sous l'action du poids P. La poulie C porte latéralement une roue à rochet, dans les dents de laquelle s'engage un doigt E, pressé constamment contre la roue par le ressort F; et d'après le sens dans lequel les dents du rochet sont tournées, la poulie C ne peut pas céder à l'action du poids P. Quant à la poulie D, elle remplace le cylindre B des figures 14 et 15, et est fixée à la première des roues dentées qui composent le mécanisme de l'horloge; l'action du poids P fait tourner cette poulie, ce qui détermine le mouvement de tous les rouages. Le poids *p* est destiné à tendre suffisamment la corde, pour qu'elle ne glisse pas dans les gorges des deux poulies C et D; ce petit poids monte, en même temps que l'autre descend. Pour remonter l'horloge, il suffit de tirer de haut en bas le cordon qui va de la poulie C à la poulie B; ce cordon fait tourner la poulie C sans que le doigt E s'y oppose, et le poids P est remonté sans cesser d'agir sur le cordon qui va de la poulie D à la poulie A. La poulie D, étant toujours soumise à l'action du poids moteur, même pendant qu'on le remonte, fait tourner les rouages et les aiguilles sans aucune interruption.

§ 12. **Horloges électriques.** — Depuis quelques années on a appliqué l'électricité aux horloges. Nous allons voir en quoi consiste cette application. On doit y distinguer deux choses essentiellement différentes, savoir : 1° la *transmission électrique* de l'heure marquée par une horloge ordinaire; 2° l'emploi de l'électricité comme moteur pour entretenir le mouvement d'un pendule, ce qui

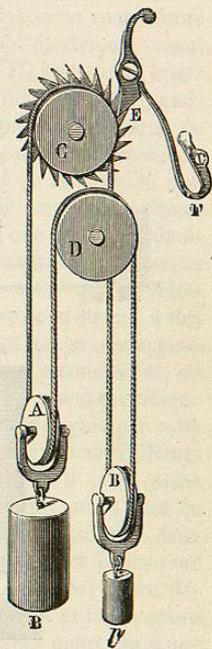


Fig. 16.

constitue l'horloge électrique proprement dite. Les appareils que nous allons décrire ont été imaginés et construits par notre célèbre artiste Froment.

La figure 17 représente le mécanisme à l'aide duquel une aiguille à secondes est mise en mouvement sur un cadran, par le moyen de l'électricité. Ce mécanisme est installé derrière le cadran, dont le centre est traversé par l'axe A portant d'un côté la roue B

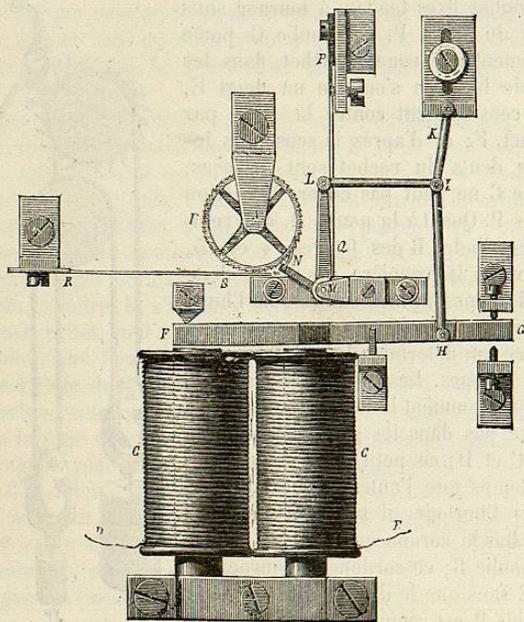


FIG. 17.

et de l'autre l'aiguille qui doit marquer les secondes. Un courant électrique, qui est établi et intercepté périodiquement, vient circuler autour des deux bobines C, C d'un électro-aimant; ce courant entre sur les bobines par l'un des deux fils D ou E, et sort par l'autre. Chaque fois que le courant passe, l'électro-aimant attire la pièce de FG; l'extrémité G de cette pièce s'abaisse, et entraîne avec elle l'extrémité H d'une tige HI, articulée en I avec une autre tige IK, qui ne peut que tourner autour du point fixe K. Cet abaissement du point H ne peut avoir lieu qu'autant que la ligne brisée

HIK se redresse et par suite la tige IL, articulée en I, se trouve tirée vers la droite; le levier coudé LMN, sur lequel agit cette tige IL, tourne donc autour de son point fixe M, et le petit doigt à ressort, que ce levier porte à son extrémité N, pousse la roue B en agissant sur une de ses dents, de manière à faire avancer l'aiguille adaptée à l'axe de cette roue de l'autre côté du cadran. L'extrémité N du bras de levier MN est en outre disposée de manière qu'en se relevant elle s'engage entre les dents de la roue B, afin de s'opposer à ce que, par l'impulsion du doigt, cette roue tourne de plus d'un soixantième de tour. Le courant électrique venant ensuite à être supprimé, une lame de ressort PQ agit sur le levier LMN, de manière à le ramener dans sa position primitive, ainsi que les autres pièces mobiles IL, KI, HI, FG, qui sont solidaires de ce levier. Pour que la roue B ne rétrograde pas dans ce moment, une saillie triangulaire portée par l'extrémité de la lame de ressort RS s'engage entre deux des dents de cette roue, et maintient ainsi l'aiguille dans l'immobilité, jusqu'à ce qu'une nouvelle impulsion du doigt N lui fasse faire encore un soixantième de tour, et ainsi de suite. On comprend maintenant qu'il suffit que le rétablissement du courant électrique ait eu lieu successivement à des instants séparés les uns des autres exactement d'une seconde, pour que l'aiguille mue par le mécanisme marque les secondes; or, on y parviendra très-facilement au moyen du mouvement périodique du pendule d'une horloge ordinaire, et l'heure marquée par cette horloge se trouvera ainsi transmise au cadran, qui pourra d'ailleurs être placé à une distance quelconque de l'horloge. Il est à peine nécessaire d'ajouter que le mouvement de l'aiguille dont on vient de parler pourra se communiquer par les moyens ordinaires à deux autres aiguilles destinées à marquer les minutes et les heures sur le même cadran. Au moyen de la disposition qui vient d'être décrite, une même horloge peut donner l'heure à un grand nombre de cadrans, placés par exemple dans les divers quartiers d'une ville.

La figure 18 représente une horloge électrique proprement dite. Elle se compose essentiellement d'un pendule AB, d'un petit poids C destiné à agir de temps en temps sur ce pendule pour entretenir son mouvement, et d'un électro-aimant D qui sert à relever le poids C chaque fois qu'il s'est abaissé en donnant une impulsion au pendule. Le pendule est suspendu par deux lames d'acier m, n, comme dans la figure 11; sa tige est en bois de sapin verni, et porte à son extrémité A une garniture métallique munie d'une pointe E qui vient aboutir précisément au-dessous du poids C; ce

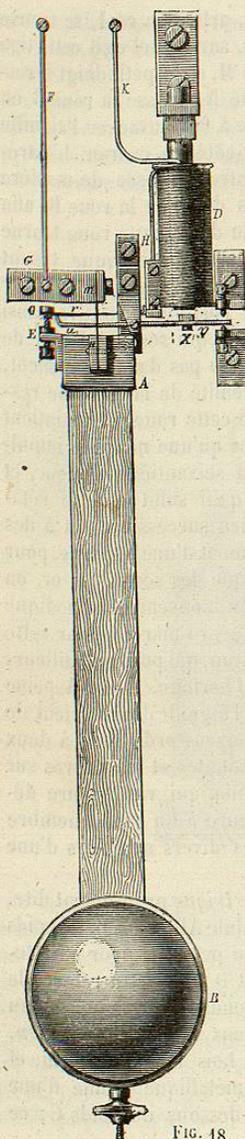


FIG. 18.

pois est d'ailleurs fixé à l'extrémité d'une lame d'acier très-flexible. Lorsque la pointe E que porte latéralement la tige du pendule vient toucher la face inférieure du petit poids C, il s'établit un courant électrique qui circule autour des bobines de l'électro-aimant D; ce courant arrivant par exemple par le fil F, passe successivement dans le support fixe G, dans les lames de suspension *m*, *n*, dans la garniture métallique A, puis dans la pointe E, dans le poids C, dans la lame *rs* et se rend par le fil H dans l'électro-aimant pour en sortir par le fil K. Si, par suite de l'oscillation du pendule, la pointe E vient à quitter le poids C, le courant est intercepté; il se rétablit de nouveau, lorsque la pointe E vient se remettre en contact avec le point C. Enfin un levier *uv*, mobile autour de son milieu et recourbé à son extrémité *u*, porte en X une pièce de fer placée en regard des pôles de l'électro-aimant. Supposons que le pendule, dans son mouvement oscillatoire, se trouve à gauche de sa position naturelle d'équilibre, et que la pointe E soit ainsi en contact avec le poids C. Le courant électrique, qui passe alors le long du circuit indiqué, détermine l'attraction de la pièce de fer X par l'électro-aimant; l'extrémité *u* du levier *uv* se trouve ainsi abaissée, et la lame *rs*, ne s'appuyant plus sur cette extrémité recourbée *u* du levier, laisse le poids C s'appuyer tout entier sur la pointe E de manière à donner une impulsion au pendule; à mesure que le pendule marche de gauche à droite, la pointe E s'abaisse, et le poids C avec elle; mais bientôt la lame *rs* vient s'appuyer

sur l'extrémité *u* du levier *uv*, et, le pendule continuant à marcher dans le même sens, la pointe E quitte le poids C; dès lors le courant électrique est interrompu, et la pièce de fer X, n'étant plus soutenue par l'électro-aimant, retombe par son poids de manière à élever l'extrémité *u* du levier et à remonter ainsi le poids C à une certaine hauteur. Lorsque le pendule revient vers la gauche, la pointe E remonte sans éprouver de résistance de la part du poids C qui est soutenu par le levier *uv*; bientôt cette pointe E atteint le poids C, le courant se rétablit, le levier *uv* bascule sous l'action de l'électro-aimant de manière à rendre le poids C libre de s'appuyer sur la pointe E, et, lorsque le pendule reprend son mouvement de gauche à droite, ce poids lui donne une nouvelle impulsion, et ainsi de suite. Deux vis entre les pointes desquelles passe l'extrémité *v* du levier *uv* servent à régler l'amplitude du mouvement de ce levier, et par suite la grandeur de la chute du poids C pendant qu'il s'appuie sur la pointe E; en faisant varier la distance des pointes de ces deux vis, on détermine une variation correspondante dans l'amplitude permanente des oscillations du pendule, et par conséquent on peut faire prendre au pendule un mouvement oscillatoire d'une amplitude déterminée. La grande simplicité de cet appareil, et la régularité de l'action du poids C pour entretenir le mouvement du pendule, assurent évidemment l'isochronisme des oscillations du pendule.

Il est aisé de voir qu'il suffit que le fil conducteur des bobines de la figure 17 fasse partie du circuit électrique de la figure 18, pour que le mouvement d'oscillation du pendule de cette dernière figure produise le mouvement d'une aiguille à secondes par le moyen du mécanisme que la première représente. Mais pour cela il faut que le pendule ait une longueur telle que chacune de ses oscillations s'effectue en une demi-seconde, de telle sorte que chaque mouvement complet, composé d'une oscillation de gauche à droite et d'une oscillation de droite à gauche, corresponde à une seconde.

§ 13. **Montres et chronomètres.** — Pour qu'une horloge à pendule et à poids puisse marcher, il est indispensable qu'elle soit installée à demeure dans un lieu déterminé : une pareille machine n'est pas susceptible d'être déplacée sans cesser de fonctionner. Cette condition de fixité de l'horloge tient, d'une part, à la présence du poids moteur; d'une autre part, à celle du régulateur à pendule. Pour construire des horloges portatives, ou *montres*, on a dû employer un régulateur et un moteur qui n'exigent pas que l'appareil soit maintenu dans une position invariable.

Le moteur que l'on a substitué au poids est un ressort formé d'une lame d'acier mince et longue, qui a été travaillée de manière à s'enrouler d'elle-même en spirale, comme le montre la figure 19. Supposons que l'extrémité extérieure du ressort soit at-

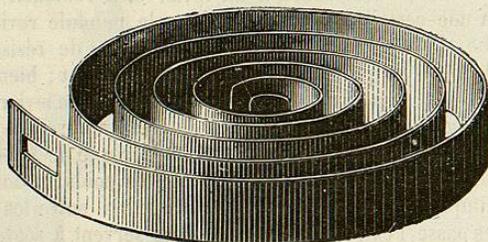


FIG. 19.

tachée en un point fixe, et que son autre extrémité soit liée à un axe susceptible de tourner sur lui-même; lorsqu'on fera tourner cet axe dans un sens convenable, il entraînera avec lui l'extrémité intérieure du ressort, les spires se serreront de plus en plus sur son contour, et le ressort prendra la forme indiquée par la figure 20. Si l'on abandonne ensuite l'axe à lui-même, le ressort, qui tend à

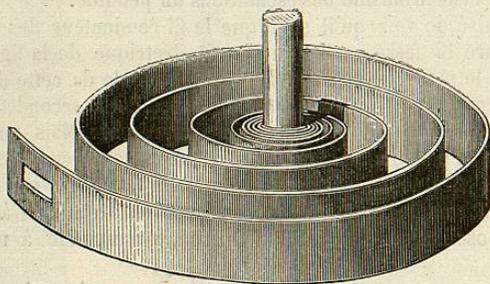


FIG. 20.

reprendre sa forme primitive, lui imprimera un mouvement de rotation; c'est ce mouvement que l'on transmet au mécanisme de la montre. Il est clair que, après que le ressort a été tendu, son extrémité intérieure peut être rendue fixe, et que, si l'extrémité extérieure est attachée à une pièce susceptible de tourner autour de l'axe du ressort, elle communiquera également un mouvement de rotation à cette pièce.

Quant au régulateur, on a adopté d'abord celui dont on se servait dans les premières horloges à poids (§ 6). Ce régulateur à balancier et à palettes fonctionne en effet de la même manière, quelle que soit la position que l'on donne à la machine entière.

§ 14. La figure 21 fait voir la disposition générale d'une montre : elle a été construite en écartant les roues les unes des autres,

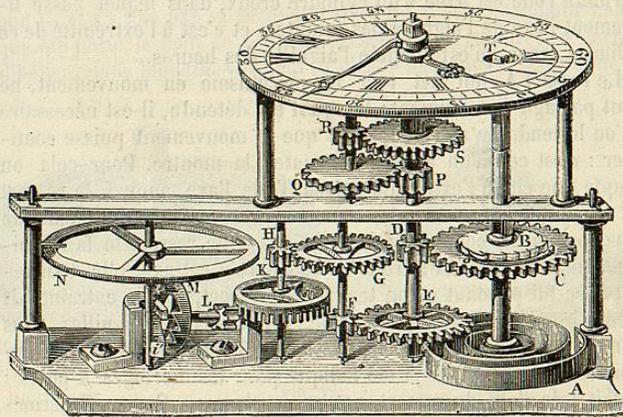


FIG. 21.

dans le sens de la hauteur, et plaçant leurs axes sur un même plan, afin de faire voir d'une manière plus nette tous les détails de cette disposition.

Le ressort A, dont l'extrémité extérieure est fixe, tend à faire tourner l'axe auquel est attachée son extrémité intérieure. Cet axe porte une roue à rochet B, qui agit sur la roue dentée C, par l'intermédiaire du doigt o. La roue C fait tourner le pignon D, et par suite la roue E; celle-ci fait tourner le pignon F et la roue G communique son mouvement au pignon H, et l'axe de ce pignon fait tourner la roue M par l'intermédiaire de la roue K et du pignon L, qui font fonction de roues d'angle. En avant de la roue M passe l'axe du régulateur à palettes et à balancier. Les palettes *i*, *i'* de ce régulateur, rencontrées successivement, l'une après l'autre, par les diverses dents de la roue M, font prendre au balancier un mouvement de rotation alternatif; et il en résulte des arrêts successifs dans la marche des rouages, ainsi que nous l'avons déjà expliqué précédemment (§ 6) pour les premières horloges à poids.

L'aiguille des minutes est fixée à l'extrémité de l'axe de la roue E, qui se prolonge et traverse le cadran en son centre. Il faut donc que le ressort moteur et le régulateur soient disposés de manière que cet axe fasse un tour entier en une heure. Sur ce même axe est monté un pignon P, qui engrène avec une roue Q; et l'axe de la roue Q porte un pignon R, qui engrène avec une roue S. Cette dernière roue est fixée à un cylindre creux, dans lequel passe librement l'axe de l'aiguille des minutes, et c'est à l'extrémité de ce cylindre creux qu'est adaptée l'aiguille des heures.

Le ressort A, qui met tout le mécanisme en mouvement, ne peut pas agir indéfiniment; lorsqu'il est détendu, il est nécessaire qu'on le tende de nouveau, pour que le mouvement puisse continuer: c'est ce qu'on appelle remonter la montre. Pour cela on adapte une clef à l'extrémité carrée T de l'axe auquel le ressort est attaché inférieurement, et l'on fait tourner cet axe dans un sens contraire à celui dans lequel l'action du ressort le fait habituellement tourner. Si la roue C était fixée à cet axe, elle tournerait avec lui pendant qu'on tendrait le ressort, et elle entraînerait nécessairement tout le mécanisme, y compris les aiguilles, dans ce mouvement rétrograde. Pour qu'il n'en soit pas ainsi, on emploie le moyen qui a déjà été indiqué pour les horloges à poids: on fait agir l'axe du ressort moteur sur la roue C, par l'intermédiaire d'une roue à rochet B, et d'un doigt *o*, sur lequel appuie constamment un petit ressort de pression. De cette manière, la roue C n'est entraînée par l'axe que lorsque celui-ci cède à l'action du ressort moteur; et lorsqu'on fait tourner cet axe en sens contraire, pour remonter le ressort, il n'entraîne que la roue à rochet B, dont les dents passent successivement sous le doigt *o*.

§ 15. Une montre, construite comme nous venons de l'expliquer, était loin de marcher même aussi bien que les premières horloges à poids. En effet, la seule différence qu'une pareille montre présente avec ces horloges, consiste en ce que le moteur est un ressort au lieu d'être un poids. Or, si le poids, dont l'action est constante, ne pouvait pas fournir un mouvement bien régulier, en raison des modifications plus ou moins grandes que cette action éprouvait de la part des rouages, avant d'être transmise au régulateur, à plus forte raison un ressort, dont l'action diminue constamment à mesure qu'il se détend, ne peut-il pas donner lieu à la régularité de marche que nécessite une exacte mesure du temps. Aussi a-t-on cherché à perfectionner les montres, non-seulement sous le rapport du régulateur, comme pour les horloges, mais aussi sous le rapport du moteur.

Pour faire disparaître l'inconvénient résultant de ce que l'action du ressort moteur n'est pas constante, on a imaginé de faire agir les rouages par l'intermédiaire d'une fusée. A cet effet, on enferme le ressort dans un tambour A (fig. 22), qu'on nomme le *barillet*; sur la surface de ce barillet est fixée l'extrémité d'une chaîne articulée B, qui, après avoir fait un certain nombre de tours sur cette surface, vient s'enrouler sur une sorte de tambour conique C, et s'y fixe par sa seconde extrémité. C'est ce tambour conique qui porte le nom de *fusée*; il présente une rainure, en forme d'hélice, dans laquelle viennent se placer les tours successifs de la

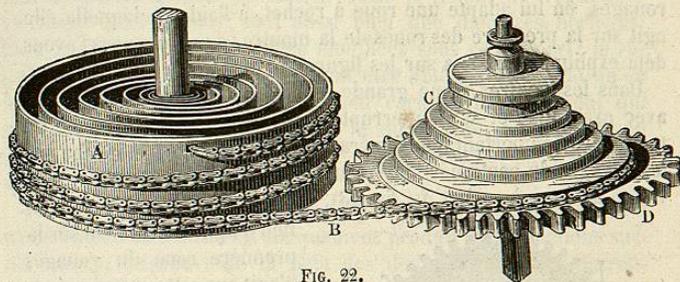


FIG. 22.

chaîne. Lorsque le ressort est complètement tendu, la chaîne est enroulée sur toute la surface de la fusée; elle s'en détache du côté de sa petite base, et vient se terminer sur la surface du barillet, qu'elle ne touche que dans une petite longueur. Le ressort a son extrémité intérieure fixe, et son extrémité extérieure attachée à la circonférence du barillet: en se détendant, il fait tourner le barillet, et communique un mouvement de même sens à la fusée, par l'intermédiaire de la chaîne. Celle-ci se déroule sur la fusée, et s'enroule sur le barillet, et le mouvement ne cesse de se produire que lorsqu'elle est entièrement déroulée sur la fusée, de manière à s'en détacher du côté de la grande base. On voit que, pendant tout ce mouvement, la tension de la chaîne, qui est produite par la force du ressort, va constamment en diminuant, mais aussi cette tension agit sur la fusée à l'extrémité d'un bras de levier de plus en plus grand; et l'on conçoit qu'on ait déterminé la forme de la fusée de manière qu'il y ait une compensation exacte, c'est-à-dire de manière que l'action de la chaîne produise le même effet qu'une force constante appliquée à l'extrémité d'un bras de levier invariable. Le mouvement de rotation que prend la fusée, sous l'action

de la chaîne, se transmet à tout le mécanisme, par l'intermédiaire de la roue D, que la fusée entraîne en tournant.

Lorsque le ressort est complètement détendu, on le tend de nouveau, en faisant tourner la fusée en sens contraire du sens dans lequel le ressort la fait habituellement tourner. De cette manière la chaîne, que l'action du ressort avait entraînée en totalité sur le contour du barillet, s'enroule de nouveau sur la fusée; en même temps le barillet tourne sous l'action de la chaîne, et entraîne l'extrémité extérieure du ressort, qui se serre ainsi de plus en plus autour de son axe. Pour que le mouvement rétrograde, imprimé à la fusée pendant le remontage, ne se transmette pas à tous les rouages, on lui adapte une roue à rochet, à l'aide de laquelle elle agit sur la première des roues de la montre, ainsi que nous l'avons déjà expliqué deux fois sur les figures 14 et 21.

Dans les montres d'une grande précision, qui doivent marcher avec exactitude et sans interruption pendant un long espace de temps, il est important que l'opération du remontage n'empêche pas les rouages de continuer leur mouvement. Voici comment on y parvient. La roue à rochet A (fig. 23), qui fait corps avec la fusée, au

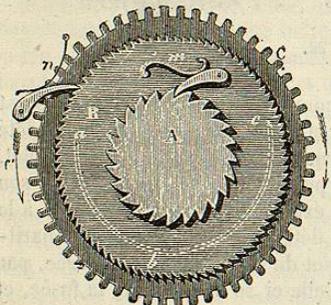


FIG. 23.

lieu d'agir directement sur la première roue du rouage, n'agit sur cette roue que par l'intermédiaire d'une seconde roue à rochet B, dont les dents sont tournées en sens contraire. Lorsque le ressort moteur tend la chaîne et fait tourner la fusée, la roue à rochet A, qui en dépend, tourne dans le sens de la flèche *f*; à l'aide du doigt *m*, cette roue fait tourner, dans le même sens, la roue dont les dents passent ainsi successivement sous le doigt *n*, sans être nullement gênées par ce doigt. Un ressort *abc* est fixé d'une part en *a* à la roue B, et d'une autre part en *c* à la roue C. La roue B, mise en mouvement, comme nous venons de le dire, tire l'extrémité *a* de ce ressort; il se tend, et tire à son tour la roue C, pour la faire tourner dans le même sens. Lorsqu'on fait tourner la fusée, et par suite la roue A, dans le sens de la flèche *f*, pour remonter la montre, la roue B ne peut pas la suivre, à cause du doigt *n* qui l'en empêche; l'extrémité *a* du ressort *abc* ne pouvant rétrograder, la tension de

ce ressort continue à tirer le point *c* de la roue C, dans le sens de la flèche *f*, et la montre ne cesse pas de marcher. Ce ressort peut ainsi entretenir seul le mouvement des rouages et des aiguilles, pendant un temps assez long pour qu'on puisse remonter complètement la montre; lorsqu'ensuite le ressort moteur reprend son action, il restitue au ressort *abc* la tension qu'il a perdue pendant le remontage.

§ 16. L'emploi d'une chaîne et d'une fusée, comme intermédiaires entre le ressort moteur et les rouages d'une montre, a mis cette machine au niveau des premières horloges à poids, en rendant constante l'action du moteur. Mais le défaut du régulateur s'y faisait encore sentir, tout aussi bien que dans ces horloges. Elles avaient donc besoin d'être modifiées sous ce rapport; la régularité de leur marche ne pouvait être obtenue qu'autant qu'on leur apporterait un perfectionnement correspondant à celui qui est résulté, pour les horloges, de la substitution du pendule au régulateur à palettes et à balancier. Voici comment on y est parvenu.

Le défaut capital du régulateur à palettes et à balancier tient à ce que son mouvement est uniquement produit par les actions successives qu'il éprouve de la part des dents de la roue de rencontre, ainsi que nous l'avons expliqué précédemment (§ 6). On a donc dû chercher à lui substituer un régulateur qui, tout en restant compatible avec la mobilité de la montre, fût cependant de nature à osciller de lui-même, sans avoir besoin pour cela de l'action du moteur. C'est ce qu'a fait Huyghens, qui a imaginé pour cela le balancier à ressort spiral, sorte de régulateur qui est exclusivement employé dans les montres, de même que le pendule l'est dans les horloges fixes. Ce balancier n'est autre chose que celui dont nous avons parlé jusqu'à présent, muni d'un ressort destiné à lui donner un mouvement d'oscillation. Ce ressort, que l'on nomme simplement le *spiral* a la même forme que le ressort moteur décrit précédemment et représenté par la figure 19; mais il est beaucoup plus délié, et a par conséquent beaucoup moins de force. Son extrémité inférieure est attachée à l'axe du balancier, comme le montre la figure 24; et son autre extrémité est fixée à l'une des platines de la montre. Le spiral prend naturellement une certaine forme d'équilibre. Lorsqu'on fait tourner le balancier autour de son axe, soit dans un sens, soit dans l'autre, le spiral se trouve déformé; en vertu de son élasticité, il tend à reprendre la figure qu'il avait précédemment, et ramène le balancier vers sa position primitive. Mais, au moment où le spiral a repris exac-

tement sa figure d'équilibre, le balancier est animé d'une vitesse en vertu de laquelle il continue de tourner dans le même sens; le spiral se déforme donc en sens contraire, et oppose au balancier une

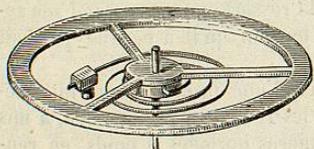


FIG. 24.

résistance croissante, qui finit bientôt par le réduire au repos. Alors le spiral, en continuant à agir sur le balancier, le ramène de nouveau à sa position primitive; celui-ci la dépasse, et ainsi de suite. Le balancier muni du spiral, après avoir été dérangé de sa position d'équilibre, oscille donc de part et d'autre de cette position, de la même manière qu'un pendule oscille de part et d'autre de la verticale. On peut dire que le spiral est au balancier ce que la pesanteur est au pendule. Il est en outre très-important d'observer que la durée des oscillations du balancier est indépendante de leur amplitude, pourvu que le spiral soit convenablement construit.

Un balancier, muni d'un ressort spiral, qui est destiné à servir de régulateur à une montre, doit être construit de telle manière que chacune de ses oscillations ait une durée déterminée. Mais comme on ne peut pas atteindre ce but immédiatement avec une

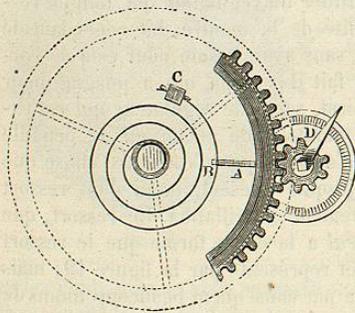


FIG. 25.

entière exactitude, en donnant des dimensions convenables aux diverses parties du régulateur, on se réserve le moyen de modifier ultérieurement la durée de ses oscillations. A cet effet, on dispose, dans le voisinage de l'extrémité fixe du spiral, une pièce A (fig. 25), qui présente une échancrure, en B. Le spiral passe dans cette échancrure, et, lorsqu'il oscille, il ne commence à se déformer qu'à partir du point B; en sorte que la portion BC du spiral est comme si elle n'existait pas, et les choses se passent comme si le spiral se terminait en B. Cette pièce A peut se mouvoir circulairement autour de l'axe du balancier; on la déplace en faisant tourner l'aiguille D sur le cadran qui l'accompagne. Quand

on fait marcher cette aiguille, dans un sens ou dans l'autre, on produit le même effet que si l'on diminuait la longueur du spiral, et par suite on fait varier sa force; on peut donc amener par là le balancier à faire des oscillations d'une durée précisément égale à celle qu'on voulait obtenir.

Les variations de température influent sur la durée des oscillations d'un balancier à ressort spiral, tout aussi bien que sur la durée des oscillations d'un pendule, en déterminant des dilatations ou des contractions qui changent les dimensions des diverses parties du balancier. Pour obvier à cet inconvénient, on a imaginé le *balancier compensateur*, formé de matières inégalement dilatables, tellement disposées, que leurs dilatations se contrarient, et qu'il n'en résulte aucun changement dans la durée des oscillations. La figure 26 représente un balancier de cette espèce. Au lieu d'être relié à l'axe au moyen de rayons, il se compose de deux bras A, A, dont chacun porte à son extrémité un arc métallique BC. Ces arcs sont formés par la juxtaposition de deux lames métalliques inégalement dilatables; le métal qui se dilate le plus est à l'extérieur, c'est-à-dire du côté de la convexité des arcs. Lorsque la température s'élève, les bras A, A, s'allongent; mais les arcs BC, se dilatant plus sur leurs faces extérieures que sur leurs faces intérieures, prennent une courbure plus prononcée: il en résulte que les extrémités C de ces arcs se rapprochent de l'axe du balancier. Deux petites masses D, D, portées par les arcs BC, se rapprochent en même temps de cet axe, et l'on conçoit que ces masses puissent être choisies et installées de telle manière qu'il ne se produise aucun changement dans la durée des oscillations du balancier.

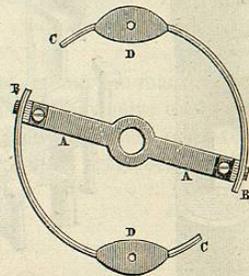


FIG. 26.

§ 17. Les avantages que présente l'emploi d'un balancier à ressort spiral, comme régulateur d'une montre, ne suffisent pas pour qu'elle marque le temps avec toute la précision désirable; il faut encore que l'échappement soit tel que le balancier soit soustrait, autant que possible, à l'action du moteur, action qui modifierait inégalement la durée des oscillations, suivant qu'elle serait plus ou moins énergique. Nous allons voir en quoi consistent les deux échappements principaux que l'on emploie maintenant, et qui ont

permis d'arriver à une grande perfection dans la mesure du temps par les montres.

Le premier dont nous parlerons est l'échappement à cylindre. L'axe du balancier est taillé d'une manière particulière, dans une partie de sa longueur, ainsi qu'on le voit sur la figure 27. La partie *ab* a été réduite à un demi-cylindre évidé; et en outre une échancrure *c* a été pratiquée dans ce demi-cylindre. C'est la partie demi-cylindrique située au-dessus de cette échancrure, qui joue le

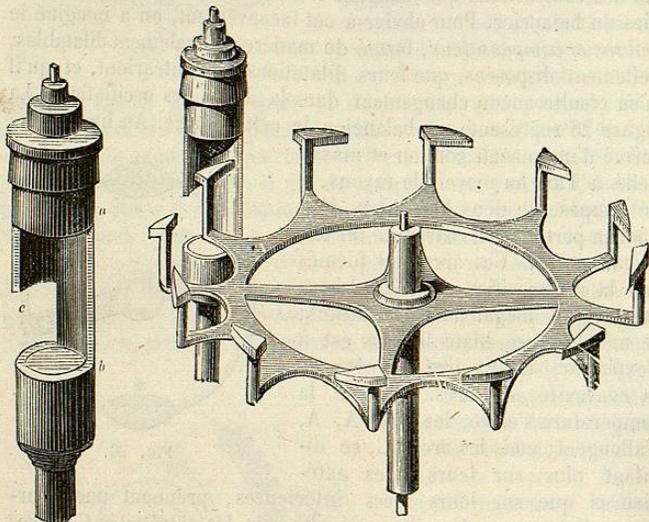


FIG. 27.

FIG. 28.

rôle le plus important. La dernière roue du mécanisme, celle qu'on nomme roue d'échappement, est placée dans un plan perpendiculaire à l'axe du balancier, et ses dents, qui s'élèvent au-dessus de sa surface, viennent s'engager dans le cylindre évidé que porte cet axe (fig. 28). Les figures 29 et 30 font voir de quelle manière le cylindre arrête et laisse passer successivement les dents de la roue. En vertu des oscillations du balancier, le cylindre *A* tourne autour du centre *B*, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Une dent *C* vient buter par sa pointe contre la surface extérieure du cylindre (fig. 29); mais bientôt ce cylindre a pris une autre position (fig. 30), et la dent *C*, qui a pu marcher sous l'action du moteur, vient buter de nouveau contre la face intérieure du cylindre;

le cylindre, reprenant ensuite sa première position, laisse échapper la dent *C*, et arrête la dent suivante par sa surface extérieure, et ainsi de suite.

Dans cet échappement, tant qu'une dent est arrêtée sur l'une

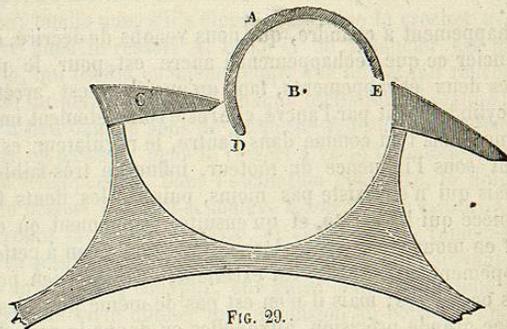


FIG. 29.

des deux faces du cylindre, elle ne tend, en aucune manière, à le faire mouvoir dans un sens ou dans l'autre; le cylindre oscille sous la seule action du spiral. Cependant le frottement qu'il éprouve de la part des dents qu'il arrête, joint aux autres résistances qui s'op-

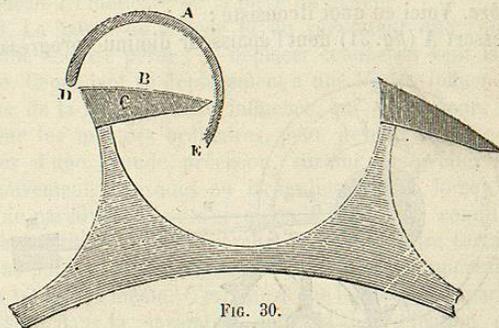


FIG. 30.

posent au mouvement du balancier, tend à diminuer l'amplitude de ses oscillations; et la montre cesserait bientôt de marcher, si le moteur ne restituait de temps en temps au balancier le mouvement que ces résistances lui font perdre. C'est pour cela qu'on donne aux dents la forme qu'elles présentent extérieurement; au moment où la dent *C*, après avoir glissé sur la surface extérieure du cylindre (fig. 29) commence à échapper, sa convexité pousse le