

tamment en communication avec l'un des pôles de la pile, et l'autre vient s'attacher à la lame métallique *Z*. Toutes ces lames placées de tranchant sur un support *K*, et séparées entre elles par des feuilles de carton, forment une sorte de peigne dont les dents *g* viennent en contact avec le cylindre *c* lorsque le support s'abaisse; le cylindre est recouvert du dessin type, et un ressort *r* met le second pôle de la pile en communication avec la surface métallique du papier. Pour chaque coup de navette, le châssis *ab* élève les aiguilles, et tous les fers doux viennent en contact avec leurs électro-aimants respectifs; à ce moment, le peigne s'abaisse et le cylindre, qu'un mécanisme fait tourner d'un cran par chaque coup de trame, présente sous les lames la ligne transversale du dessin qui se rapporte à la duite qui va se tisser. Toutes les dents qui sont en contact avec la partie métallique du papier laissent passer le courant; et, lorsque le châssis redescend, les aiguilles correspondantes à ces lames restent suspendues à leurs électro-aimants.

Dans cette disposition, la force magnétique de chaque électro-aimant devait être suffisante pour qu'il pût supporter le poids de l'aiguille et du cylindre de plomb suspendu à chaque fil. Il fallait donc, d'une part, lui donner des dimensions relativement considérables, ce qui nécessitait l'écartement des aiguilles, et de l'autre, employer des courants d'une certaine intensité, ce qui, indépendamment de la dépense, détériore facilement les appareils.

M. Bonelli fut donc conduit à adopter une autre disposition, dans laquelle l'électro-magnétisme joue exactement le rôle des cartons du métier Jacquard. Les électro-aimants n'ont plus sur les aiguilles qu'une action latérale, en les dégageant, à un moment donné, du support qui les soulève. C'était là déjà un grand progrès, en ce sens qu'on doit épargner autant que possible à l'électricité tout développement de force mécanique et se servir de sa propriété essentielle, l'instantanéité, pour changer, à un moment donné, les dispositions relatives des pièces d'une machine. Dans la figure 413, *h* est une tige horizontale du métier Jacquard (Voyez fig. 411), vue de haut en bas, *e* est l'élec-

tro-aimant correspondant; à côté de son pôle se trouve l'extrémité en fer doux d'un levier qui, par un renvoi de mouve-

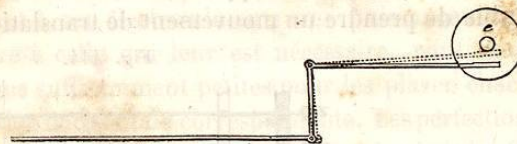


Fig. 413.

ment, communique avec *h*. Lorsque l'armure est attirée, la tige *h* reçoit un mouvement latéral de gauche à droite, et elle dégage de son support l'aiguille qui lui est liée, absolument de la même manière qu'elle le fait dans le métier Jacquard lorsqu'elle est repoussée par les cartons. M. Bonelli modifia aussi la nature du papier qui recouvre le cylindre. Sur du papier ordinaire, on trace avec du vernis le dessin qui doit être reproduit, puis on le recouvre d'une mince feuille d'étain, avec lequel on le laisse en contact pendant un certain temps; en frottant ensuite le papier avec un tampon de coton, l'étain reste adhérent au vernis, et disparaît où il n'y en a pas.

C'est de cette manière que fonctionnait le métier que M. Bonelli a fait monter à Paris; nous n'entrerons pas dans tous les détails de l'appareil, ce qui nous entraînerait trop loin; d'ailleurs, M. Bonelli reconnaissait lui-même qu'il y avait encore à surmonter un grand nombre de difficultés.

M. Froment s'occupe actuellement des modifications à faire subir à l'appareil de M. Bonelli. Dans celui qu'il se propose de construire, l'action magnétique aura lieu suivant l'axe de l'électro-aimant qui sera horizontal, et non pas latéralement (Voyez fig. 413). M. Bonelli avait été empêché d'adopter cette disposition par l'impossibilité de donner à ses électro-aimants un diamètre assez petit pour qu'ils fussent chacun vis-à-vis de leurs tiges correspondantes; mais M. Froment surmonte cette difficulté en diminuant encore la force magnétique que devra développer chaque électro-aimant. La figure 414 indique le principe de la disposition qu'il compte employer. Devant chaque électro-aimant, se trouve une tige horizontale terminée d'un

côté par une pièce de fer doux, et en *t* par un petit cylindre de cuivre ou tête. Toutes ces tiges peuvent se mouvoir latéralement dans le châssis C qui les supporte, et ce châssis lui-même est susceptible de prendre un mouvement de translation. Pour

Fig. 414.

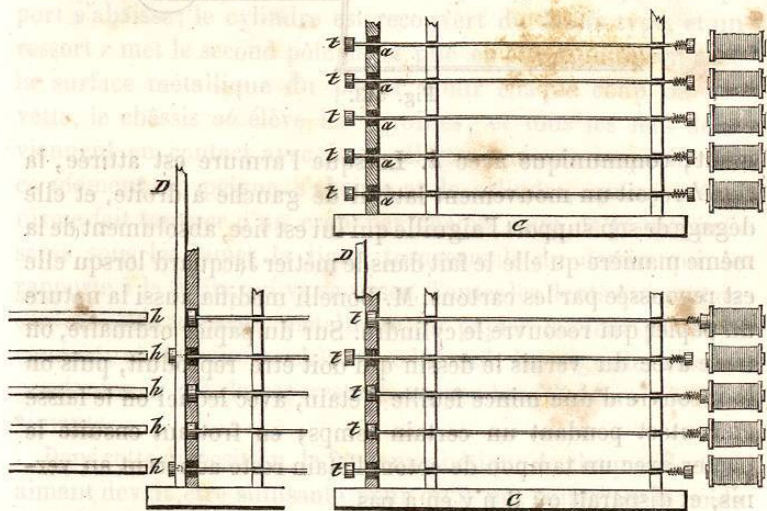


Fig. 415.

chaque coup de trame, il s'avance d'abord de gauche à droite, et vient appliquer tous les fers doux contre les pôles de leurs électro-aimants respectifs, puis il repart en sens contraire et n'entraîne avec lui que les tiges appliquées contre les électro-aimants inactifs. Lorsque le châssis s'est éloigné suffisamment pour que les têtes *c* des tiges restées adhérentes aient passé dans les ouvertures *a*, le courant cesse partout et le châssis continue à s'avancer en emportant avec lui toutes les tiges dans les positions respectives qu'elles y ont prises; à ce moment, une coulisse *D* s'abaisse et vient fermer les ouvertures devant les têtes des tiges restées dans le châssis, en même temps qu'elle sert d'appui à celles qui sont en dehors (fig. 415). C'est alors que la paroi du châssis qui s'avance toujours vient rencontrer les extrémités des tiges horizontales *z* du métier et qu'elle agit sur elles comme le carton Jacquard, en poussant latéralement celles

qui correspondent à des têtes *c* restées hors du châssis. Ainsi l'électro-magnétisme n'aura plus à vaincre que la faible résistance des petites tiges sur leurs glissières, et M. Froment, tout en donnant à ses électro-aimants une puissance d'action très-supérieure à celle qui leur est nécessaire, peut rendre leurs dimensions suffisamment petites pour les placer chacun vis-à-vis de la tige horizontale correspondante. Les perfectionnements porteront aussi sur le mode de communication des fils avec le papier métallique; en outre, un commutateur fermera le circuit un instant après le contact des dents avec le dessin type et le rompra un instant avant que ce contact cesse; cette disposition fera disparaître les étincelles d'induction qui finissaient par détériorer le papier.

Dans l'exposé que nous avons donné de l'invention de M. Bonelli, il est un certain nombre de détails se rapportant spécialement à l'art du tissage, dans lesquels nous n'avons pu entrer. Il nous semble qu'on ne doit voir logiquement dans ces difficultés aucune que le métier électrique ne puisse surmonter, comme l'a fait le métier Jacquard; puisque en définitive un carton n'est susceptible que de présenter des parties pleines et des parties vides, comme le papier qui le remplace présente des parties conductrices et d'autres qui ne le sont pas.

*Appareil pour entretenir le mouvement du pendule Foucault.*

Dans la belle expérience imaginée par M. Foucault, où l'invariabilité du plan d'oscillation d'un pendule donne la démonstration de la rotation de la terre, l'amplitude des mouvements du pendule diminue peu à peu à cause de la résistance de l'air. M. Foucault a trouvé un moyen très-ingénieux de conserver indéfiniment cette amplitude sans influer en rien sur la direction du plan d'oscillation, en se servant de l'attraction exercée par un électro-aimant sur la sphère qui se meut sous l'action de la pesanteur. Cette application de l'électro-magnétisme a ceci de remarquable, qu'elle présente le premier exemple d'un

commutateur fonctionnant sans qu'il y ait contact entre la partie fixe de l'appareil et celle qui est en mouvement.

La figure 416 représente la disposition adoptée par M. Foucault, d'après un dessin qu'il a bien voulu nous communiquer.

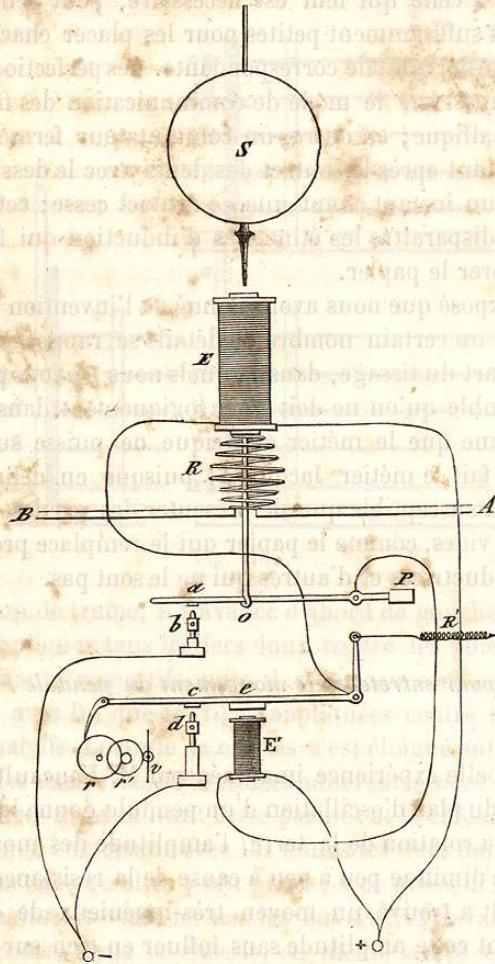


Fig. 416.

Un électro-aimant E, placé exactement sur la verticale du point de suspension du pendule repose sur un ressort R soutenu par la plaque AB. Une tige verticale, fixée à l'électro-

aimant, passe à travers le ressort et se termine par un crochet *o*, dans lequel s'engage le levier *ap*, équilibré par le poids *p*, et portant un contact *a*, qui peut venir toucher la pièce *b*, dont une vis sert à régler la hauteur. Un levier coudé, que tend à soulever le ressort R', porte une armature *e* placée au-dessus d'un second électro-aimant E', plus petit que E et disposé sur la même verticale; *c* et *d* constituent un contact semblable à celui du premier levier. La tige *ec* se termine par une came qui s'appuie sur les dents d'une roue *r*, laquelle engrène avec le pignon d'une seconde roue *r'*, qui communique son mouvement à un petit volant *v*. De chacun des pôles de la pile partent deux fils, de manière à former deux circuits complets et indépendants qui constituent, l'un, l'électro-aimant supérieur, et l'autre, l'électro-aimant inférieur.

La sphère S qui se meut sous l'action de la pesanteur est en cuivre et contient un cylindre de fer doux, dont l'axe est le prolongement du fil de suspension.

Supposons le pendule à l'extrémité de sa course : le ressort R, légèrement comprimé par le poids de l'électro-aimant, permet au contact *ab* de s'établir; il en résulte que le courant passe dans E', que l'armature *e* est attirée, le contact *cd* établi, et que, par conséquent, le courant circule dans E. Quand le fil du pendule arrive près de la verticale, le cylindre de fer doux placé dans l'intérieur de la sphère, se trouvant à proximité de l'électro-aimant, est attiré, et le pendule reçoit l'impulsion qui conserve l'amplitude de ses oscillations. Il faut remarquer que cette impulsion lui est toujours donnée dans le plan où il se meut, puisque ce plan passe toujours par la verticale du point de suspension sur laquelle se trouve aussi le centre d'action de l'électro-aimant E et celui de l'électro-aimant E', dont la force attractive, si elle n'est pas négligeable, est du moins ainsi sans influence sur la direction du plan d'oscillation. Voici maintenant comment l'aimantation cesse du moment où le pendule a dépassé la verticale, et où par conséquent l'attraction magnétique s'opposerait à son mouvement. La figure représente l'appareil dans l'instant où la sphère se trouve au-dessus de E; celui-ci, qu'un très-faible effort suffit pour soulever à cause

de l'élasticité du ressort, est attiré verticalement par le fer doux, s'élève de quelques millimètres et soulève le levier *ap*, ce qui interrompt le contact *ab*; l'électro-aimant *E'* cessant d'être aimanté, le ressort *R'* soulève le levier coudé, le contact *cd* est interrompu et le courant ne peut plus circuler dans l'électro-aimant *E*. Mais il était important de disposer les choses de telle manière que le courant ne pût se rétablir dans *E* avant que la sphère ne fût en dehors de son champ magnétique. Or, dès que le pendule a dépassé la verticale l'électro-aimant retombe, et *E'* de nouveau aimanté attire son armature; mais la came *f*, arrêtée par les dents de la roue *r*, ne permet au levier que de descendre d'un mouvement lent et régulier qui est réglé par le volant *v*, en sorte que le contact *cd* ne se rétablit qu'au bout d'un certain temps, lorsque la sphère du pendule est hors du champ magnétique de l'électro-aimant.

*Appareil électro-trieur.*

Dans la métallurgie du fer, telle qu'elle se pratique habituellement, la séparation du métal et des matières qui l'accompagnent, ou *gangue*, a lieu par voie de fusion; la fonte, plus dense, s'écoule au-dessous du laitier qui la recouvre. Un autre procédé, mis en avant par M. Chenot, consiste à séparer d'abord à l'état solide le fer ou plutôt l'oxyde de fer de sa gangue, puis à réduire ce minerai trié en employant une température très-inférieure à celle qui produit la fusion de la fonte. Par sa méthode, M. Chenot obtient le fer à l'état d'éponge métallique qui jouit de la singulière propriété de brûler comme du charbon, et qu'une forte compression transforme en fer ordinaire. M. Chenot emploie le fer obtenu sous cet état particulier dans une fabrication nouvelle et intéressante de l'acier, qui consiste à produire la cémentation du fer, en mettant en contact l'éponge métallique avec un composé liquide de carbone, du goudron par exemple, qui pénètre dans toute sa masse, et en produisant, par une brusque élévation de température, la combinaison des deux éléments. Nous indiquons ici le principe de cette méthode

métallurgique, pour faire comprendre l'application qu'y trouve l'électro-magnétisme. En effet, on sépare le minerai de sa gangue en se servant de ses propriétés magnétiques que l'on développe, si le fer y est à l'état de peroxyde, en le mettant en contact avec de la vapeur d'eau, ce qui le fait passer à l'état d'oxyde magnétique.

On doit à M. Froment un appareil électro-trieur, qui, par ses proportions, la rapidité avec laquelle il fonctionne et la quantité de matière sur laquelle il peut agir, prend le rang d'une machine industrielle. Il est représenté de profil dans la figure 417. Un cercle de fonte, dont le diamètre est d'un mètre

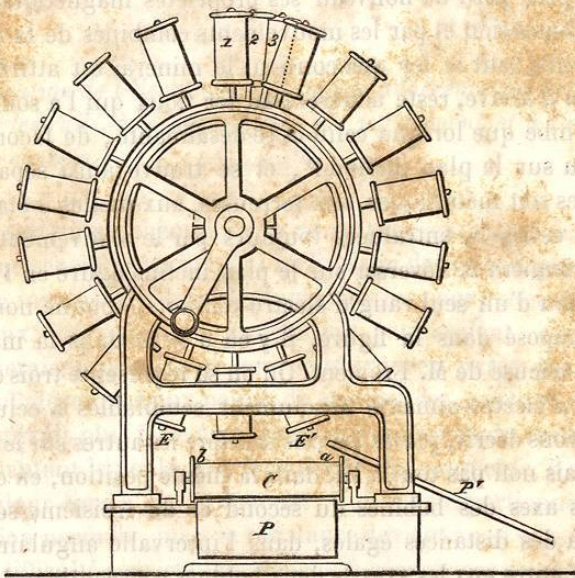


Fig. 417.

environ, tournant autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan de la figure, porte à sa circonférence 18 électro-aimants dont les axes sont dirigés suivant le prolongement des rayons du cercle. Au-dessous, une toile sans fin passe sur le cylindre *c* et sur un second cylindre exactement pareil placé en arrière du

premier, de telle sorte que la nappe supérieure de cette toile, dont la projection est  $ab$ , se meut dans un plan horizontal perpendiculairement à celui de la figure, lorsque les cylindres qui la conduisent reçoivent un mouvement de rotation. Le minerai de fer, réduit et pulvérisé, est étendu continuellement sur l'une des extrémités de la toile; entraîné avec elle, il vient passer sous les électro-aimants en mouvement.

Un commutateur, qui n'est pas représenté sur la figure, est disposé de manière à ne faire passer le courant de la pile qui fonctionne, que dans les bobines qui occupent à un instant quelconque l'arc le plus bas de la circonférence, de sorte que chaque fer doux, en arrivant en  $E$  s'aimante, reste aimanté de  $E$  en  $E'$ , puis perd de nouveau ses propriétés magnétiques. Par cette disposition et par les mouvements combinés de la roue et de la toile, tout le fer que contient le minerai est attiré à mesure qu'il arrive, reste adhérent au fer doux qui l'a soulevé et ne retombe que lorsque celui-ci se désaimante, de façon qu'il est reçu sur le plan incliné  $P'$ , et se trouve ainsi séparé des matières soit métalliques, soit terreuses, auxquelles il était mélangé; celles-ci, entraînées toujours par le mouvement de la toile, viennent se déverser sur le plan incliné figuré en  $P$ .

Au lieu d'un seul rang d'électro-aimants, comme nous l'avons supposé dans la figure, il y en a trois dans la machine électro-trieuse de M. Froment. Qu'on se représente trois cercles garnis d'électro-aimants absolument semblables à celui que nous avons décrit, placés les uns derrière les autres sur le même axe, mais non pas tout à fait dans la même position, en ce sens que les axes des bobines du second et du troisième sont répartis à des distances égales, dans l'intervalle angulaire que laissent entre eux les axes de deux bobines consécutives du premier, arrangement représenté en lignes ponctuées pour les électro-aimants marqués des numéros 1, 2 et 3. Le commutateur fonctionne à la fois pour les trois rangs de bobines. Par cette disposition, il n'est aucune partie du minerai qui puisse échapper à l'action magnétique, et l'opération a lieu, pour ainsi dire, d'une manière continue.

Les fers doux n'ont pas une forme cylindrique; leur section

est très-allongée perpendiculairement au plan de la figure, c'est-à-dire dans le sens suivant lequel s'avance le minerai. On communique le mouvement à l'appareil, soit à l'aide de la manivelle  $H$ , soit au moyen d'une courroie sans fin, passant sur l'arbre d'une machine à vapeur et sur la poulie en fonte  $K$ , qui, sur la figure, cache en partie le cercle auquel sont adaptés les électro-aimants. Nous n'avons pas représenté le mécanisme qui transmet ce mouvement aux cylindres portant la toile sans fin, dont la vitesse de rotation doit être réglée suivant la richesse en fer du minerai, et qui donne un mouvement de va et vient à l'entonnoir qui contient la matière pulvérisée, de façon à la déverser d'une manière régulière et continue sur la toile mobile.

*Application de l'électro-magnétisme à l'adhérence des locomotives sur les rails, à la transmission du mouvement et à l'enrayage des convois.*

On sait qu'un chemin de fer ne doit présenter que des pentes à peine sensibles, et que si l'inclinaison des rails dépassait une limite insuffisante dans la plupart des cas pour éviter de grands travaux, les roues des locomotives patineraient, c'est-à-dire tourneraient sur elles-mêmes sans avancer, parce que le frottement développé aux points de contact des roues et des rails ne pourrait plus faire équilibre aux résistances du train. — En augmentant le poids de la locomotive, on augmente, il est vrai, la valeur limite du frottement, qui est proportionnelle à la pression normale, mais la résistance devient aussi plus grande, et la difficulté consiste précisément à séparer ces deux éléments l'un de l'autre, c'est-à-dire à trouver le moyen d'augmenter uniquement la pression normale à la direction des rails. — Une attraction électro-magnétique se présentait naturellement comme la solution du problème, et cette idée fut émise en particulier par M. Weber et M. Liebig. M. Nicklès est le premier qui se soit sérieusement occupé de cette question; et, bien que ses travaux sur ce sujet n'aient pas encore amené de résultats

pratiques, on lui doit du moins des essais utiles et des données précises<sup>1</sup>.

Un procédé très-simple consistait à lier à la locomotive des électro-aimants qui fussent le plus près possible des rails, de manière à agir sur eux avec une grande puissance; l'expérience faite en petit réussit fort bien, mais on ne put espérer un résultat pratique à cause du pouvoir magnétique énorme qu'il eût fallu obtenir pour cela. — M. Nicklès eut alors l'idée d'aimanter les roues motrices, en enveloppant chacune d'elles, près de son point de contact avec le rail, d'une hélice dont la paroi intérieure embrasse la jante sans la toucher. La figure 418 repré-

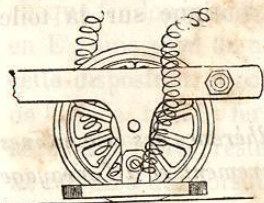


Fig. 418.

sente la roue d'un appareil d'essai qui fonctionne avec succès, et c'est à la suite de ces premières expériences que M. Nicklès fit l'application de son procédé à une locomotive qui fut mise à sa disposition sur le chemin de fer de Lyon. La pile, composée de 64 éléments Bunsen, était placée dans le tender, et chacune des deux hélices qui entouraient le bas des roues motrices était formée d'un fil de 518 mètres de longueur formant 216 tours et de 4<sup>mm</sup>,5 de diamètre. Le poids de la locomotive était de 29 tonnes, celui du convoi entier de 119 tonnes; on fit l'essai sur une pente de 10 millimètres par mètre et on put constater que l'aimantation des roues produisait une augmentation d'adhérence d'environ 8 pour 100, lorsque la locomotive marchait à petite vitesse. Ces expériences montrèrent aussi que l'adhérence électro-magnétique décroît assez rapidement lorsque la vitesse augmente, ce qui est dû, suivant M. Nicklès, aux deux causes suivantes :

1° Le déplacement du pôle magnétique, qui, lorsque la roue est en repos, se trouve à son point de contact avec les rails, mais qui se déplace pendant le mouvement, et se transporte en arrière.

<sup>1</sup> Thèse de physique présentée par M. Nicklès à la Faculté des sciences de Paris. — *Archives des Sciences physiques et naturelles.*

2° La force coercitive de la fonte, dont se compose la roue, qui diminue l'intensité du magnétisme, parce qu'une portion quelconque de la jante passe continuellement et avec plus ou moins de rapidité d'une polarité à l'autre. Enfin, comme M. Nicklès l'observe lui-même, on peut reprocher à son procédé de n'utiliser qu'un des deux pôles magnétiques développés dans chaque roue.

Ce sont ces considérations qui ont amené M. Nicklès à abandonner le mode d'aimantation qu'il avait d'abord adopté, et à le remplacer par ce qu'il appelle les électro-aimants circulaires. Un barreau de fer doux, enveloppé d'une hélice à l'intérieur de laquelle il peut tourner, et terminé à ses deux extrémités par des disques également de fer doux, à la circonférence desquels le magnétisme a son maximum d'intensité, constitue un électro-aimant circulaire (fig. 419). D'après les expériences de M. Nicklès, la meilleure manière d'utiliser le pouvoir aimantant d'un courant est de produire au milieu de l'électro-aimant un point conséquent en y changeant le sens de l'hélice, et en y fixant

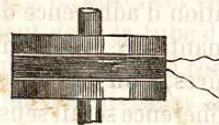


Fig. 419.

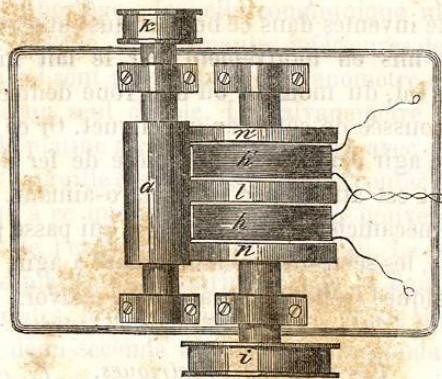


Fig. 420.

un cercle en fer doux pareil aux deux autres. — Cette disposition est réalisée dans l'appareil (fig. 420), où l'adhérence électro-magnétique sert à transmettre le mouvement de la poulie *i* à la poulie *k*. Les hélices *h* et *h'* sont enroulées en

sens contraire l'une de l'autre, en sorte que  $n$  et  $n'$  sont des pôles nord et  $l$  un pôle sud;  $a$  est un cylindre en fer contre lequel adhèrent les trois cercles polaires de l'électro-aimant circulaire. On conçoit que dans cette disposition le mouvement ne doit en rien changer les conditions du magnétisme; et, en partant des données que lui ont fournies les appareils analogues à celui que nous venons de décrire, M. Nicklès pense qu'une roue motrice de locomotive pourra donner, dans des conditions d'aimantation faciles à réaliser, une attraction de  $2\frac{1}{2}$  tonnes par ligne de circonférence; or, dans les expériences citées plus haut, 250 kilog. d'attraction par roue ont fourni une augmentation d'adhérence de 8 pour 100; on arriverait donc, en appliquant aux locomotives le procédé des électro-aimants circulaires, à un accroissement d'adhérence de 91 pour 100, et cette adhérence serait sensiblement constante pour toutes les vitesses.

Nous dirons ici quelques mots d'une autre application de l'électro-magnétisme aux chemins de fer, qui permet, en faisant passer un courant le long d'un train, de mettre instantanément tous les freins en action dès que le mécanicien veut arrêter le convoi. L'*enrayeur électrique* de M. Achard est, de tous les appareils qui ont été inventés dans ce but, le plus satisfaisant. — Le serre-frein est mis en mouvement par le fait même de la marche du convoi, du moment où une roue dentée que porte son arbre est poussée de côté par un cliquet. Or ce cliquet ne devient libre d'agir que lorsqu'une pièce de fer doux qui le tient en respect est attirée par un électro-aimant. Ainsi, du moment où le mécanicien ferme le circuit qui passe par tous les électro-aimants, les serre-freins commencent à agir, et arrêtent au bout de quelques instants la marche du convoi.

#### *Enregistreurs électriques.*

Nous avons déjà signalé, dans le paragraphe des télégraphes électriques, l'utilité qu'on avait tirée de ce mode de communication pour différentes observations scientifiques, plus particulièrement astronomiques; nous avons également décrit dans le paragraphe actuel bien des instruments et des appareils im-

portants fondés sur les mêmes principes. Il nous reste à ajouter quelques détails sur l'application qu'on en a faite à l'enregistrement de certaines observations.

Wheatstone, qu'on retrouve toujours quand il s'agit des questions de ce genre, avait imaginé un système d'appareils qui, susceptibles de s'élever dans l'atmosphère au moyen d'un ballon captif, pouvaient donner, à différentes hauteurs, la température, la pression de l'air, l'humidité, l'intensité et la direction du vent, etc. Voici comment est construit le thermomètre: Le mouvement d'une petite horloge fait descendre et monter régulièrement, en six minutes, un engrenage vertical; cet engrenage porte un fil fin de platine qui se meut dans le tube du thermomètre et dont les excursions ont une étendue qui correspond à un nombre plus ou moins grand des divisions de l'échelle thermométrique. Deux fils fins de cuivre, recouverts de soie, et d'une longueur suffisante pour unir le ballon à la terre dans sa plus grande élévation, sont fixés à l'instrument, de manière que l'extrémité de l'un plonge dans le mercure du thermomètre et que l'extrémité de l'autre soit en contact avec la roue de l'horloge, laquelle communique métalliquement avec le fil de platine. Les extrémités inférieures des deux fils qui arrivent au sol sont unies par un galvanomètre et par une très-petite pile à un seul couple. Le galvanomètre reste à  $0^\circ$  tant que le fil de platine n'est pas en contact avec le mercure du tube; mais l'aiguille dévie aussitôt que le contact a lieu et reste déviée jusqu'à ce que le contact soit de nouveau rompu par l'ascension de l'engrenage qui porte le fil. Le temps employé par le fil de platine à parcourir l'échelle de haut en bas étant de trois minutes, le fil parcourt la  $360^\circ$  partie de cette échelle pendant la demi-seconde de temps correspondant aux battements de l'horloge, et par conséquent chaque point de l'échelle correspond à un battement différent ou à une demi-seconde différente prise dans la série des trois minutes. Dès lors, si un observateur muni à terre d'un chronomètre réglé de manière à suivre dans ses indications l'horloge emportée dans l'espace par le ballon, note l'instant précis auquel l'aiguille du galvanomètre a été déviée, il déduira immédiatement de cette observa-