Les observations que nous venons d'indiquer sont encore données par la courbe des vitesses; en effet, on voit que la vitesse augmente jusqu'au point d'inflexion R de la courbe des

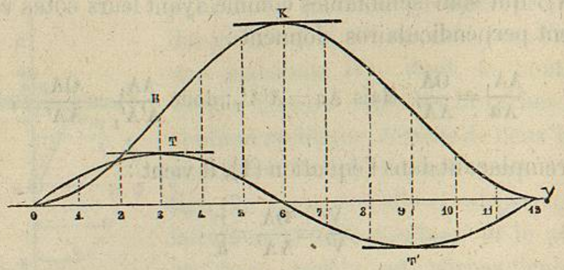

Fig. 268.

espaces; elle diminue pour devenir nulle jusqu'au point 6 où le mouvement change de sens, puis elle augmente jusqu'au point T' pour redevenir nulle au point 12.

§ 7. — EXCENTRIQUES.

396. La transformation du mouvement circulaire continu en rectiligne alternatif s'effectue aussi au moyen d'organes appelés

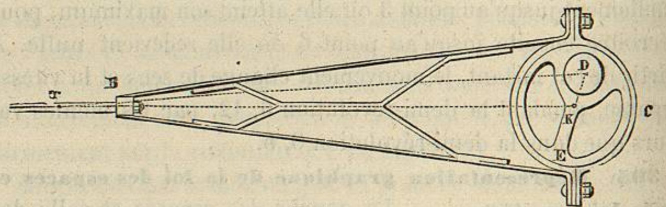

Fig. 269.

excentriques, dont les principaux sont : l'excentrique circulaire à collier, l'excentrique circulaire à cadre et l'excentrique triangulaire.

397. Excentrique circulaire à collier. — Cet organe se compose d'un disque circulaire en métal E (*fig.* 269), plein ou évidé, calé sur l'arbre moteur D par un point autre que son centre K. Ce disque est embrassé par un collier C, appelé *bague*, formé de deux parties boulonnées l'une à l'autre, à l'intérieur duquel le disque peut tourner à frottement doux. Le collier

porte deux tiges appelées *barres d'excentrique*, servant à le relier à l'extrémité B de la tige qu'on veut faire mouvoir d'un mouvement rectiligne alternatif suivant la direction xD passant par l'axe de rotation D.

Cet organe n'est qu'une variété du dispositif *bielle et manivelle*. En effet, joignons le point K aux points D et B; la longueur des droites DK et BK ne change pas pendant la marche, et il en résulte que le mouvement de l'extrémité B de la tige est exactement le même que si ce point B se trouvait relié à l'arbre D, par l'intermédiaire d'une bielle BK et d'une manivelle DK montée sur cet arbre.

On peut encore considérer cet excentrique comme une manivelle dont le diamètre du bouton, augmentant de plus en plus, finirait par embrasser l'arbre D lui-même. Donc, tout ce qui a été dit relativement à la loi de mouvement du système bielle et manivelle s'applique ici sans aucune restriction.

La distance DK de l'axe de rotation au centre du disque s'appelle l'*excentricité*.

La transformation de mouvement opérée au moyen de cet excentrique n'est pas réciproque comme si l'on employait une bielle et une manivelle; la tige ne peut mener l'excentrique et par suite communiquer le mouvement à l'arbre. Un autre inconvénient de cet excentrique, c'est que le frottement du disque contre la bague est assez considérable, et cet appareil ne peut servir pour trasmettre de grands efforts. On l'emploie très souvent dans les machines à cause de la facilité avec laquelle on peut le caler en un point quelconque d'un arbre tournant; il évite le coude qu'il faudrait pour livrer passage à une bielle conduite par une manivelle.

398. Excentrique circulaire à cadre. — La bague de l'excentrique est quelquefois remplacée par un cadre rectangulaire MNM'N' (*fig* 270), à l'intérieur duquel se meut le disque circulaire qui touche constamment les deux côtés MN et M'N'. Une tige CD, fixée au milieu de ces côtés et convenablement guidée, reçoit, pendant la révolution du disque, un mouvement rectiligne alternatif dont la course est égale à 2OA, c'est-à-dire au double de l'excentricité.

Cet excentrique n'est encore qu'une variété du dispositif que nous avons appelé *manivelle et tige guidée à coulisse*. En effet, le mouvement de la coulisse BB′ sera le même, quel que soit le diamètre du bouton A de la manivelle ; si nous supposons que ce diamètre augmente jusqu'à englober l'axe O lui-même, la manivelle deviendra le disque E et la coulisse se sera élargie jusqu'à devenir le cadre MNM′N′ ; de plus, la loi de mouvement ne sera pas changée. Donc, la tige CD se meut exactement comme si elle était reliée à une coulisse BB′, conduite par une manivelle OA dont la longueur serait égale à l'excentricité, et, par suite, comme la projection rectangulaire du centre A du disque sur le diamètre aa' de la circonférence décrite de l'axe O comme centre avec l'excentricité pour rayon.

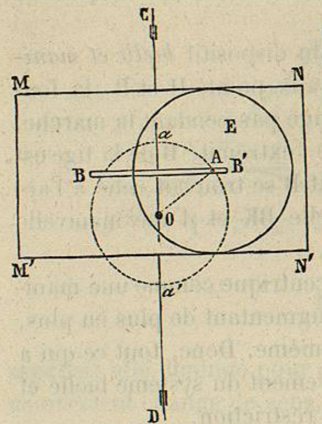

Fig. 270.

399. Excentrique triangulaire. — Cet excentrique sert à transformer un mouvement circulaire continu en un mouvement rectiligne alternatif avec intermittences. Il se compose d'un prisme droit ayant pour section droite un triangle équilatéral $O_1A_1B_1$, dont les côtés ont été remplacés par des arcs de cercle décrits des sommets opposés comme centres avec les côtés pour rayons. Ce prisme de $0^m,02$ à $0^m,04$ de hauteur, et toujours fait en acier afin qu'il s'use peu, est fixé en saillie sur un plateau circulaire (*fig.* 271), de manière que l'un des sommets corresponde à l'axe de rotation. Le rayon du plateau est égal à celui des arcs qui forment le triangle curviligne ; celui-ci tourne à l'intérieur d'un cadre MNM′N′ ayant pour hauteur le rayon du plateau, et communique à ce cadre un mouvement rectiligne alternatif avec repos à chaque changement de sens.

Soit OAB la position initiale de l'excentrique, et supposons que le plateau tourne dans le sens de la flèche. Pendant le passage de l'excentrique de sa position initiale à la position OBC, l'arc OB pousse le côté inférieur du cadre, tandis que l'autre côté s'appuie constamment sur le sommet A ; au bout de $\frac{1}{6}$ de tour, le sommet B sera venu en C et, à partir de cet instant, il pousse le côté inférieur du cadre tandis que l'arc OA, qui est

venu en OB, glisse sur le côté supérieur jusqu'à ce que l'excentrique prenne la position OCD à la fin du deuxième $\frac{1}{6}$ de tour. A partir de cette position, jusqu'à la position ODC′, c'est l'arc CD qui vient en contact avec le cadre, et comme tous ses points sont également éloignés du centre de rotation, le cadre reste stationnaire dans sa position M′N′M″N″ pendant le troisième $\frac{1}{6}$ de tour. La nouvelle position ODC′ de l'excentrique étant symétrique de sa position initiale, les mêmes circonstances se reproduiront, mais en sens inverse ; le cadre remontera pour reprendre sa position primitive au bout de la révolution complète.

400. Loi du mouvement de la tige. — Le mouvement de

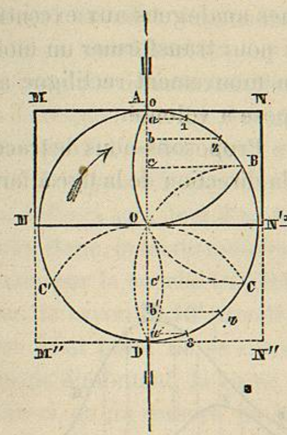

Fig. 271.

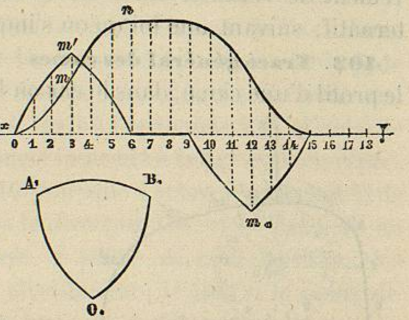

Fig. 272.

l'arbre tournant étant supposé uniforme, il est facile de construire la courbe représentative du mouvement du cadre, et par suite de la tige guidée qui en est solidaire. En effet, pendant le premier $\frac{1}{6}$ de la révolution, le cadre s'appuie constamment sur le sommet A, et son mouvement n'est autre que celui de la projection du point A sur le rayon OA ; pendant le deuxième $\frac{1}{6}$ de tour, le sommet C pousse le cadre, et le mouvement de celui-ci est le même que le mouvement de la projection du point C sur le rayon OD. Pendant la troisième période, le mouvement du cadre est nul et les mêmes phases se reproduisent pour la course ascendante. Si donc on porte sur une ligne d'abscisses xy (*fig.* 272) une longueur de 0,18, égale à la circonférence OA développée et divisée en 18 parties égales, qu'aux points de division on élève des ordonnées sur lesquelles on prenne des longueurs respectivement égales à Aa, Ab, Ac et (Ac+$c'b'$), (Ac+ $a'c'$), (Ac+c'D), on obtiendra les deux premières périodes de la loi cherchée. Dans la troisième période, la loi sera une droite parallèle à la ligne des abscisses. Pour les quatrième et cinquième périodes, la courbe sera symétrique à $o\ m\ n$, et enfin, dans la sixième période, la loi se confondra avec la ligne des abscisses.

La loi des vitesses $m'm_1$ s'obtiendra par le procédé connu.

§ 8. — CAMES.

401. On appelle *cames* des organes analogues aux excentriques et employés dans les machines pour transformer un mouvement de rotation uniforme en un mouvement rectiligne alternatif, suivant une loi qu'on s'impose à volonté.

402. Tracé général des cames. — Proposons-nous de tracer le profil d'une came, dans le cas où la direction de la tige à faire

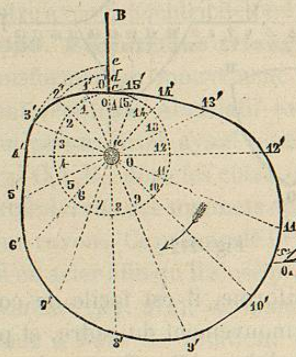

Fig. 273.

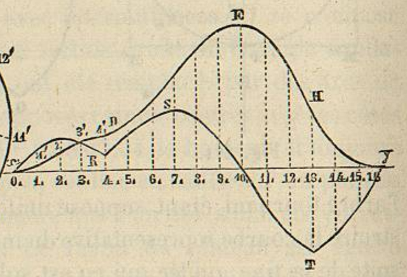

Fig. 274.

mouvoir coupe l'axe de rotation à angle droit, et où la loi de mouvement de la tige est donnée d'une manière quelconque pour un tour entier de l'axe animé d'un mouvement uniforme.

Soient O (*fig.* 273) la projection de l'axe de l'arbre tournant, AB la tige guidée, et Aa la plus petite épaisseur à donner à la came, déterminée d'après la nature de la matière à employer. Avec OA pour rayon, décrivons une circonférence et divisons cette ligne en un certain nombre de parties égales, 16 par exemple. Développons cette circonférence sur une ligne d'abscisses xy

(*fig.* 274); la longueur $0_1 16_1$ peut être considérée comme représentant le temps T pendant lequel l'arbre effectue une révolution entière. Si, sur $0_1 16_1$ comme ligne d'abscisses, nous construisons la courbe représentant la loi du mouvement imposé, les ordonnées élevées aux points de divisions donneront les espaces respectivement parcourus par la tige au bout de $\frac{1}{16}$ T, $\frac{2}{16}$ T, $\frac{3}{16}$ T....., $\frac{16}{16}$ T. Cela posé, sur les rayons prolongés du cercle OA, et à partir de sa circonférence, portons des longueurs 1.1′, 2.2′, 3.3′...., respectivement égales aux ordonnées $1_1 1'_1$, $2_1 2'_1$, $3_1 3'_1$,....; en joignant tous les points 1′, 2′, 3′...., ainsi obtenus, on aura le profil de la came réalisant le mouvement demandé. En effet, supposons que la tige AB, terminée en pointe, s'appuie constamment sur ce profil, et faisons tourner l'axe de $\frac{1}{16}$ de tour dans le sens de la flèche; le rayon 1.1′ viendra sous la direction de la tige, et celle-ci se sera éloignée de l'axe d'une quantité 1.1′=Ac, égale à l'ordonnée $1_1 1_1'$; au bout de $\frac{2}{16}$ de tour, le rayon 2.2′ sera venu sous la tige, et le chemin parcouru par celle-ci sera de 2.2′=Ad, égale à l'ordonnée $2_1 2'_1$ et ainsi de suite. Donc, la loi du mouvement imprimé à la tige est bien représentée par la courbe ODEH16. Lorsque l'arbre O aura fait $\frac{10}{16}$ de tour, le rayon 10.10′ prendra la direction OB, et la tige sera au plus haut point de sa course. A partir de cette position, les rayons diminuant, la came abandonnera la tige si le poids de celle-ci, ou un ressort, ne la force pas à descendre et à en suivre le profil. On voit donc qu'une pareille came ne peut, par sa seule action, assurer la continuité du mouvement.

403. Réciproquement, étant donnée une came quelconque, on trouvera facilement la loi du mouvement de la tige en développant la circonférence OA, puis prenant pour ordonnées des longueurs respectivement égales aux prolongements 1.1′, 2.2′, 3.3′....; ou, ce qui revient au même, aux longueurs Ac, Ad, Ae...., et joignant tous les points obtenus par une courbe continue.

La loi des vitesses s'obtiendra par le procédé connu.

404. Si la came était telle que toutes les lignes telles que 2′.10′ passant par l'axe et s'arrêtant au profil fussent égales, on pourrait disposer, de l'autre côté de la came, une autre pointe identique à A, sur laquelle elle viendrait agir pour faire descendre la tige.

La figure 275 représente une came réalisant cette condition.

On voit que le mouvement ayant lieu dans le sens de la flèche, la partie située à gauche de la direction BC agit seule sur la tige pour la faire monter ou descendre, et par suite le mouvement est le même pour la course ascendante et pour la course descendante. Dans ce cas, la courbe LUSA (*fig.* 276) représentative du mouvement de la tige pour un tour entier de l'arbre est composée de deux parties LUI et ISA, exactement pareilles, mais inversement placées. Les ordonnées de la deuxième portion ISA, par rapport à la ligne IA′, sont égales à celles de la première portion, par rapport à LM ; par conséquent toutes les lignes droites passant par l'axe de la came sont d'égale lon-

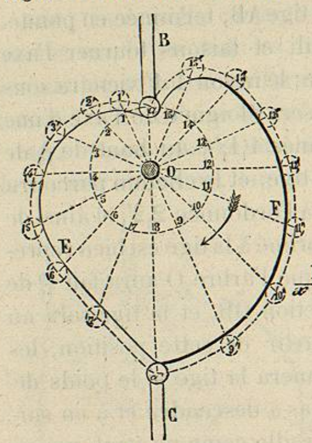

Fig. 275.

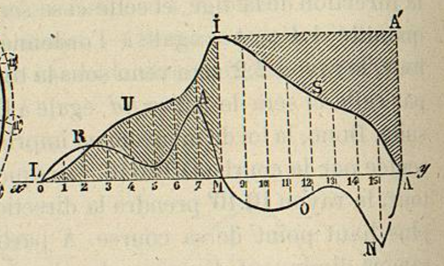

Fig. 276.

gueur, et la condition est remplie pour qu'il y ait continuité de mouvement. Ainsi donc, pour qu'une came puisse conduire une tige dans les deux sens, il faut et il suffit que la loi du mouvement de cette tige soit la même pour les courses ascendantes et descendantes.

La loi LAMN des vitesses sera, par suite, égale pour chacune de ces courses, ce qui, du reste, se vérifie sur la figure 276.

405. Afin de diminuer le frottement et d'éviter l'usure des pointes par lesquelles la tige doit s'appuyer contre la came, on les remplace par des galets *a*, *a* de petit diamètre. L'emploi de ces galets modifie la came dont le profil doit rester tangent à leurs surfaces extérieures dans toutes les positions. Pour obtenir la courbe convenable, des points 1′, 2′, 3′.... comme

centres, décrivons des circonférences avec le rayon des galets ; la courbe enveloppe de toutes ces circonférences donne la forme exacte de la came.

406. Came en cœur. — Cette came communique à une tige dont la direction passe par son axe de rotation, un mouvement rectiligne alternatif uniforme. Soient O l'axe de rotation (*fig.* 277) et Cc la plus petite épaisseur à donner à la came. Divisons la circonférence OC, en un certain nombre de parties égales, 16 par exemple ; sur la direction CB de la tige, portons une longueur CB égale à la course de la tige et divisons CB en 8 parties égales. Si du point O comme centre on décrit des arcs O1, O2, O3...., leurs

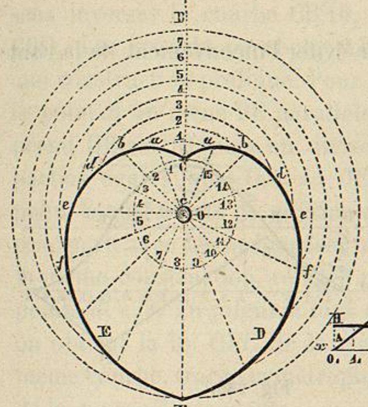

Fig. 277.

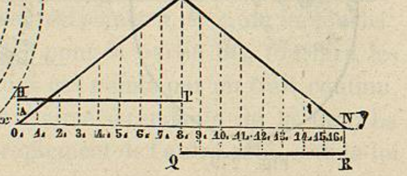

Fig. 278.

insersections *aa*, *bb*, *dd*...., avec des rayons menés par les points de division correspondants de la circonférence OC, donneront les différents points du profil de la came, et en les joignant par un trait continu, on obtiendra la courbe CDFE, qui a reçu le nom de *courbe en cœur*, à cause de sa forme. Cette courbe satisfait à la condition d'égalité de toutes les droites passant par l'axe O. En effet, prenons une droite quelconque *df* ; cette ligne, si nous en retranchons le diamètre de la circonférence OC, commun à toutes les droites passant par le centre, se compose de deux parties $f5 + d13$ ou $d3$; or $f5$ es égale aux $\frac{5}{8}$ de CB et $d3$ égale aux $\frac{3}{8}$ de cette même ligne. Donc $f5 + d3 = \frac{5}{8} + \frac{3}{8} = 1 = \text{CB}$, égale à la course de la tige, et il en est de même de toutes les autres droites.

407. Pour trouver la loi du mouvement de la tige (*fig.*278), il suffit de porter, sur une ligne d'abscisses, le développement de la circonférence OC, de diviser la longueur ainsi obtenue en 16 parties égales et d'élever aux points de division des ordonnées respectivement égales aux longueurs C1, C2, C3.... On obtient ainsi la loi AMN, composée de deux lignes droites également inclinées sur la ligne des abscisses.

La loi des vitesses HPQR est aussi formée par deux droites parallèles à la ligne des abscisses et symétriquement placées par rapport à cette ligne; cette loi nous fait voir que la vitesse change brusquement de sens à la fin de chaque course de la tige, ce qui constitue le plus grave inconvénient de la came en cœur.

408. Came Morin. — Pour éviter l'inconvénient de la came

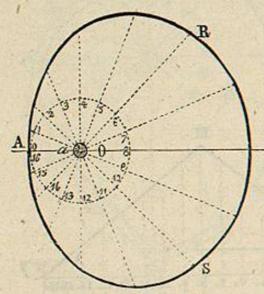

Fig. 279.

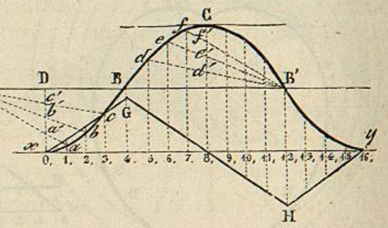

Fig. 280.

en cœur lorsque l'uniformité du mouvement de la tige n'est pas absolument nécessaire, le général Morin a imaginé une came qui porte son nom, et qui communique à la tige qu'elle conduit un mouvement non pas uniforme, mais uniformément accéléré pendant la moitié de la course et uniformément retardé pendant l'autre moitié, de sorte que la vitesse croît et décroît uniformément et est nulle à chaque changement de sens; le mouvement acquiert ainsi toute la douceur désirable.

La courbe représentative du mouvement, de laquelle nous déduirons la came, est facile à tracer. Soient O (*fig.* 279) l'axe de rotation et A*a* la plus petite épaisseur à donner à la came. Divisons la circonférence OA en 16 parties égales; portons sa longueur développée sur une ligne d'abscisses *xy* (*fig.* 280), et aux divers points de division, élevons des ordonnées. Portons sur l'ordonnée 8_1 une longueur 8_1C égale à la course, et sur l'ordonnée 4_1 une longueur 4_1B égale à la moitié de la course; les points B et C sont deux points de la courbe. Le mouvement devant être uniformément accéléré depuis O_1 jusqu'à 4_1, la courbe O_1bB sera une branche de parabole ayant son sommet en O_1, O_1D pour axe et la ligne d'abscisses pour tangente au sommet; de même, le mouvement devant être uniformément retardé de 4_1 à 8_1, la courbe B*e*C sera une seconde branche de parabole ayant son sommet en C, $C8_1$ pour axe et se raccordant en B avec la première. A partir de l'ordonnée 8_1, c'est-à-dire de la demi-révolution de l'axe O, les mêmes circonstances devront se reproduire dans le mouvement, mais en sens inverse; la courbe $CB'16_1$ sera symétrique de la courbe CBO_1. Les arcs de parabole O_1B et BC peuvent se tracer par une construction pratique. Pour déterminer le premier arc, par le point B on mène BE parallèle à la ligne des abscisses et on prend DE = DB, puis on divise DO_1 en un même nombre de parties égales que O_14_1 = DE. Les droites qui joignent le point E aux points de division *a'*, *b'*, *c'*, déterminent, par leur rencontre avec les ordonnées, les points *a*, *b*, *c*, de la courbe; la même construction, répétée pour la partie BC, fournira les points *d*, *e*, *f*. En joignant tous ces points par un trait continu, on obtient la loi OBC de la course ascendante de la tige. La même courbe, tracée symétriquement de l'autre côté, sera la loi de la course descendante.

La vitesse variant uniformément, la loi O_1GH16_1 des vitesses se compose de lignes droites et rencontre l'axe des abscisses au point 8_1, car la tangente à la courbe des espaces étant horizontale, la vitesse est nulle en ce point et, de plus, elle change de sens.

409. La loi du mouvement étant tracée, on construira la courbe ARS, comme nous l'avons fait pour les cames précédentes.

Tout ce qui vient d'être dit pour les cames suffit évidemment pour tracer le profil d'une came, quelle que soit la loi de mouvement qu'on s'impose. Ces organes sont très employés dans les machines et leur forme varie à l'infini.

410. Le mouvement rectiligne alternatif communiqué par une came peut être intermittent, le contour de la came présente, dans ce cas, des parties concentriques à l'axe, correspondant aux périodes de repos ; on les appelle *cames à ondes*.

411. La tige peut parcourir deux ou plusieurs fois sa course pour un seul tour de l'arbre ; les cames prennent alors les noms de *cames doubles*, *cames triples*.

412. Cas où la direction de la tige ne passe pas par l'axe de rotation. — Il arrive, quelquefois, qu'une tige doit être soulevée verticalement à une certaine hauteur, pour retomber ensuite lorsqu'elle est abandonnée à son propre poids ; tel est le cas des pilons à fabriquer la poudre. Le sabot en fonte est surmonté d'une flèche en bois convenablement guidée et armée d'une partie saillante appelée *mentonnet*, sur laquelle vient agir une came montée sur un arbre horizontal. Le mentonnet étant arrivé à une certaine hauteur, la came l'abandonne et la tige retombe par son propre poids pour rester ensuite au repos jusqu'à ce que l'arbre, ayant fait un tour, vienne le soulever de nouveau. Un pareil système peut être assimilé à un engrenage à crémaillère dans lequel la roue et la crémaillère n'auraient qu'une dent.

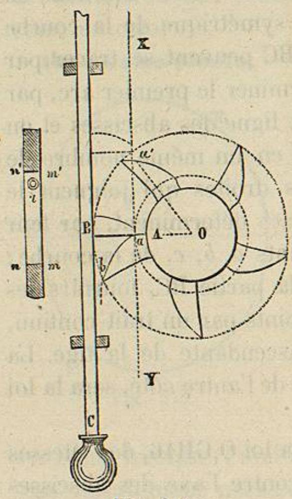

Fig. 281.

Soient OA (*fig.* 281) l'arbre tournant, BC la tige du pilon, et Ba le mentonnet. Par l'extrémité a du mentonnet, menons XY parallèle à la direction de la tige ; cette droite peut être considérée comme la ligne primitive d'une crémaillère dont Ba serait le flanc, et par suite, le profil de la came qui doit soulever le pilon sera la développante ab obtenue en développant la circonférence Oa tangente à XY.

Pour limiter la came, remarquons que le contact a toujours lieu sur la ligne XY, c'est-à-dire sur l'extrémité a du mentonnet. Soit aa' la course du pilon ; lorsque le mentonnet est venu en a', la came doit cesser de le conduire, et par conséquent la circonférence décrite du point O comme centre, avec Oa' pour rayon, limitera la longueur de la came. Le profil de la came,

du côté qui n'agit pas, peut être quelconque ; il est ordinairement formé par une portion de rayon raccordé à l'arbre par une courbe qui, en élargissant la base de cette came, lui donne plus de solidité.

413. Lorsque la came quitte le mentonnet, l'arbre n'a plus

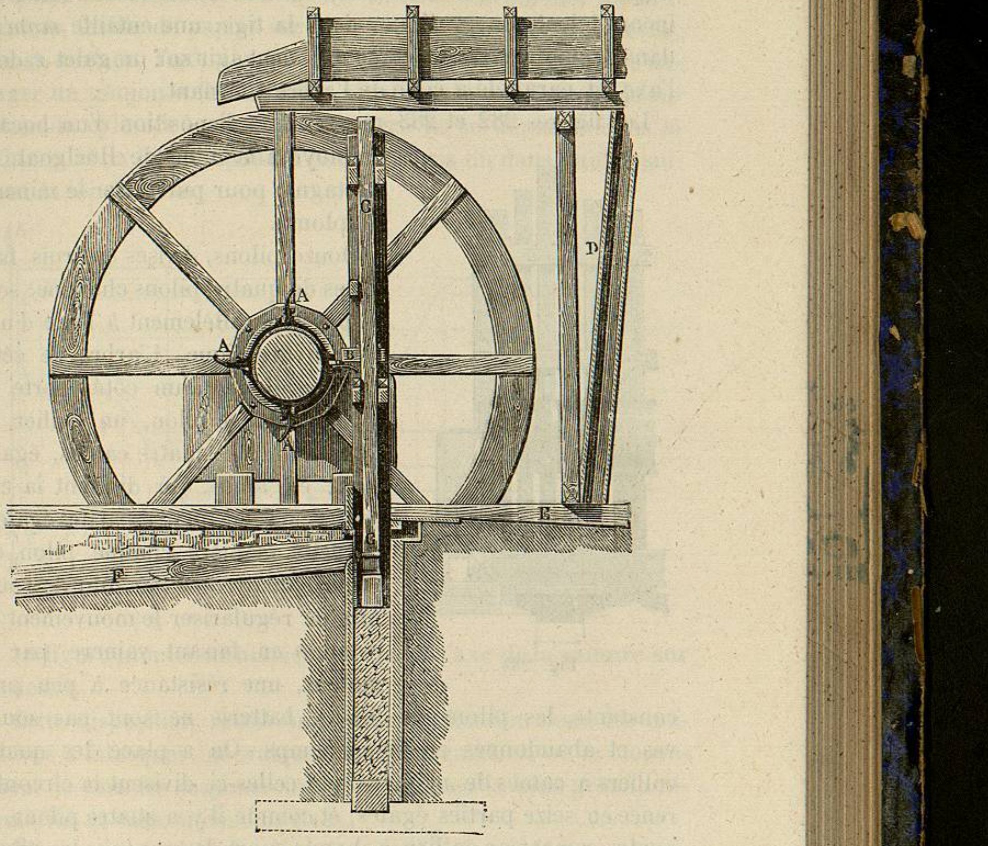

Fig. 282.

aucune résistance à vaincre et son mouvement s'accélère pour se retarder ensuite dès que la tige recommence à être soulevée. Pour éviter ces irrégularités, on a soin d'appliquer, au même arbre, 5 ou 6 pilons placés les uns à côté des autres ; on obtient un ensemble qu'on nomme *bocard* ou *batterie de pilons*. Les cames sont disposées, suivant la longueur de l'arbre, de manière que leurs projections, sur un plan perpendiculaire à l'axe, soient équidistantes comme le montre la figure.

414. Dans la disposition que nous venons de décrire, une came agissant sur un mentonnet en saillie sur la tige, présente l'inconvénient de presser fortement cette tige contre ses guides, ce qui occasionne des frottements considérables. Pour éviter cet inconvénient, on pratique, dans la tige, une entaille *mnm'n'*, dans laquelle passe la came qui vient agir sur un galet *r* dont l'axe est parallèle à celui de l'arbre tournant.

Les figures 282 et 283 montrent la disposition d'un bocard employé à la mine de Huelgoat, en Bretagne, pour pulvériser le minerai de plomb.

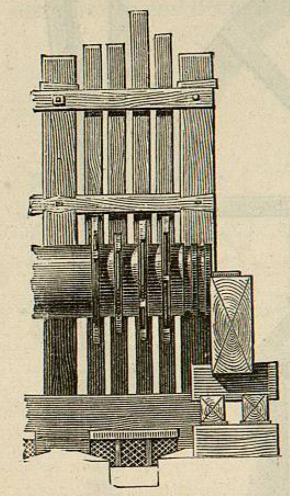

Fig. 283.

Douze pilons, divisés en trois batteries de quatre pilons chacune, sont disposés parallèlement à l'axe d'une roue hydraulique. L'arbre de cette roue, prolongé d'un côté, porte en face de chaque pilon, un collier en fonte muni de quatre cames, également en fonte, qui divisent la circonférence en quatre parties égales; de cette manière chaque pilon est soulevé quatre fois par tour de roue. Afin de régulariser le mouvement de rotation en faisant vaincre, par le moteur, une résistance à peu près constante, les pilons de chaque batterie ne sont pas soulevés et abandonnés en même temps. On a placé les quatre colliers à cames de manière que celles-ci divisent la circonférence en seize parties égales, et comme il y a quatre pilons, et quatre cames par collier, à chaque quart de tour tous les pilons sont successivement élevés et abandonnés. Les trois batteries étant manœuvrées de la même façon, il en résulte que la résistance est sensiblement la même pendant toute la rotation.

415. Cas où la direction de la tige est parallèle à l'axe de rotation. — On peut encore communiquer un mouvement rectiligne quelconque à une tige guidée dont la direction est parallèle à l'axe animé d'un mouvement uniforme. En effet, soient OO'

(*fig.* 284) l'axe de rotation, et AB la tige guidée; montons, sur cet axe, un cylindre à base circulaire presque tangent à la tige; développons sa surface cylindrique sur une feuille de papier et traçons, sur cette feuille, la loi du mouvement que l'on veut imposer à la tige, en prenant pour abscisses la longueur de la circonférence de la section droite. Si nous enroulons, maintenant, la feuille de papier sur le cylindre, nous déterminerons, sur sa surface, l'axe d'une rainure dans laquelle viendra s'engager un goujon *a* fixé à la tige. Pendant le mouvement de rotation du cylindre le goujon sera forcé de se déplacer dans la rainure, et la tige se mouvra dans un sens ou dans l'autre suivant la loi donnée.

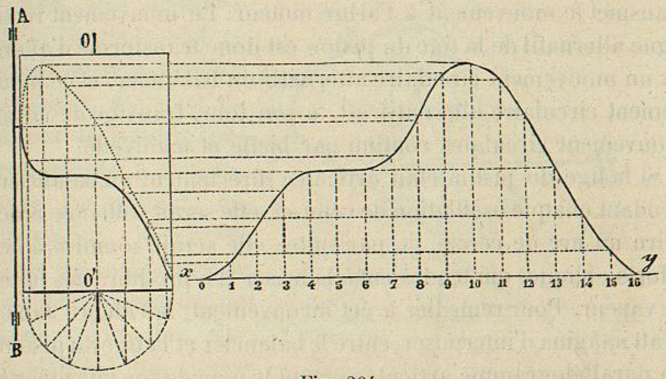

Fig. 284.

La figure montre la manière de tracer l'axe de la rainure sur le dessin.

Cette disposition reçoit une large application dans les machines à fabriquer mécaniquement les cigarettes, où le mouvement de tous les organes doit s'opérer avec la plus grande régularité et suivant des lois fixes.

Elle est aussi utilisée dans les machines en blanc, système Napier, qui fonctionnent à la Banque de France et à l'Administration du timbre, pour déterminer les diverses phases du mouvement du marbre.

Si la direction de la tige, au lieu d'être parallèle à l'axe de rotation, rencontrait cet axe en un point quelconque, le cylindre serait remplacé par un cône dont la génératrice serait parallèle à la tige, et la même construction serait applicable.