

CHAPITRE III

MÉCANISME

63. Adhérence. — Les pistons d'une locomotive font tourner les roues motrices ; pour que la locomotive avance, il faut que ces roues ne glissent pas ou ne patinent pas, mais roulent sur le rail. C'est le frottement qui empêche le patinage. Quand un objet repose sur une table plane, même par une face bien dressée, par exemple un tiroir de locomotive sur un marbre d'atelier, une certaine force est nécessaire pour le déplacer : cette force dépend du poids de l'objet, puis de la nature et de l'état des surfaces en contact : c'est, dans chaque cas, une fraction déterminée du poids. Ce pourra être le cinquième du poids du tiroir, s'il n'est pas graissé, soit 2 kg, s'il en pèse 10. En posant sur le marbre une rondelle cylindrique, on peut soit la faire rouler, soit la faire glisser comme le tiroir, en la poussant de manière qu'elle ne tourne pas : il faudra pour cela surmonter un frottement comme pour faire glisser un corps plat, tandis qu'un très faible effort suffit pour produire le roulement.

De même, pour qu'une roue de locomotive patine au lieu de rouler sur le rail, il faut qu'elle surmonte un frottement, c'est-à-dire une résistance qui agit au point où elle repose sur le rail et dont la direction suit le rail.

Si les rails et les roues motrices sont munis de dents engrenant les unes dans les autres, ainsi qu'on le voit sur les chemins de fer à crémaillère, et comme l'avait fait Blenkinsop en 1814, la rotation des roues fait nécessairement avancer la locomotive ; l'effort exercé par les dents des roues sur celles du rail est l'effort de traction total, qui entraîne le train et la locomotive elle-même.

On peut se figurer une roue et un rail ordinaires munis de dents microscopiques : ce sont ces petites dents qui donnent à la locomotive un appui pour exercer son effort de traction ; il en résulte une poussée égale à l'effort de traction total, dirigée dans le sens du rail. Cette poussée ne peut dépasser la valeur qui produirait le glissement de la roue, valeur limite qui est une fraction du poids appuyant la roue sur le rail ; cette fraction est variable selon l'état des surfaces. Tant que l'effort de traction produit par la locomotive est moindre que cette limite, les roues tournent sans glisser ; dès que

l'effort dépasse cette limite, soit qu'il devienne trop fort, soit que la limite s'abaisse, les roues patinent.

Cet effort limite peut être le cinquième du poids des roues motrices sur le rail, dit poids adhérent, et même davantage, lorsque le rail est bien sec; le poids adhérent d'une machine à essieux indépendants étant, par exemple, de 18 000 kg, l'effort de traction pourrait atteindre, dans ce cas, le cinquième de 18 000, ou 3 600 kg, sans produire le patinage.

L'humidité rend le rail un peu gras et réduit beaucoup l'effort capable de produire le patinage : cet effort ne sera plus que le dixième, le quinzième du poids adhérent, c'est-à-dire, dans l'exemple choisi, 1 800, 1 200 kg. Quand les rails sont bien lavés par une pluie abondante, on retrouve une adhérence presque aussi grande que lorsqu'ils sont secs.

Diverses causes, outre l'humidité, peuvent réduire beaucoup l'adhérence : les feuilles mortes, l'huile sur les rails ou sur les roues, les sauterelles écrasées, les mélasses coulant le long de la voie pendant le transport.

En résumé, les conditions variables de l'adhérence imposent à l'effort de traction une limite indépendante de la puissance motrice que peut donner la vapeur. Lorsque cette limite est atteinte, les roues patinent; la puissance motrice étant plus grande que la résistance qui lui est opposée, le mécanisme se met aussitôt à tourner plus vite, et risque d'atteindre en peu d'instant une vitesse capable de le briser ou de le fausser, si le mécanicien ne ferme à temps le régulateur.

64. Accouplement. — La limite de l'effort de traction imposée par l'adhérence est, à chaque instant, proportionnelle au poids adhérent; il y a intérêt évident à augmenter cette limite, mais les voies ne supporteraient pas un accroissement indéfini du poids sous les roues : on ne dépasse guère 17 à 18 t. par essieu. L'effort de traction se trouve ainsi limité bien bas dans les locomotives à essieux indépendants.

L'accouplement de deux ou plusieurs trains de roues permet de relever beaucoup cette limite, en les obligeant à rouler ou à patiner ensemble. Le poids adhérent se trouve ainsi doublé, triplé; il peut comprendre le poids total de la locomotive et même celui des approvisionnements, dans les machines-tenders.

Pendant longtemps, on a cru que l'accouplement ne convenait pas aux locomotives à grande vitesse. Mais la pratique a montré que les bielles d'accouplement, bien montées, résistaient aux rotations les plus rapides des roues, et que les avaries en étaient extrêmement rares.

65. Sablières. — En répandant un peu de sable sur les rails, on augmente l'adhérence, et on combat les influences qui la réduisent. Le sable, contenu dans une sablière, est amené par des tuyaux en

avant des roues motrices : il tombe spontanément quand on démas-

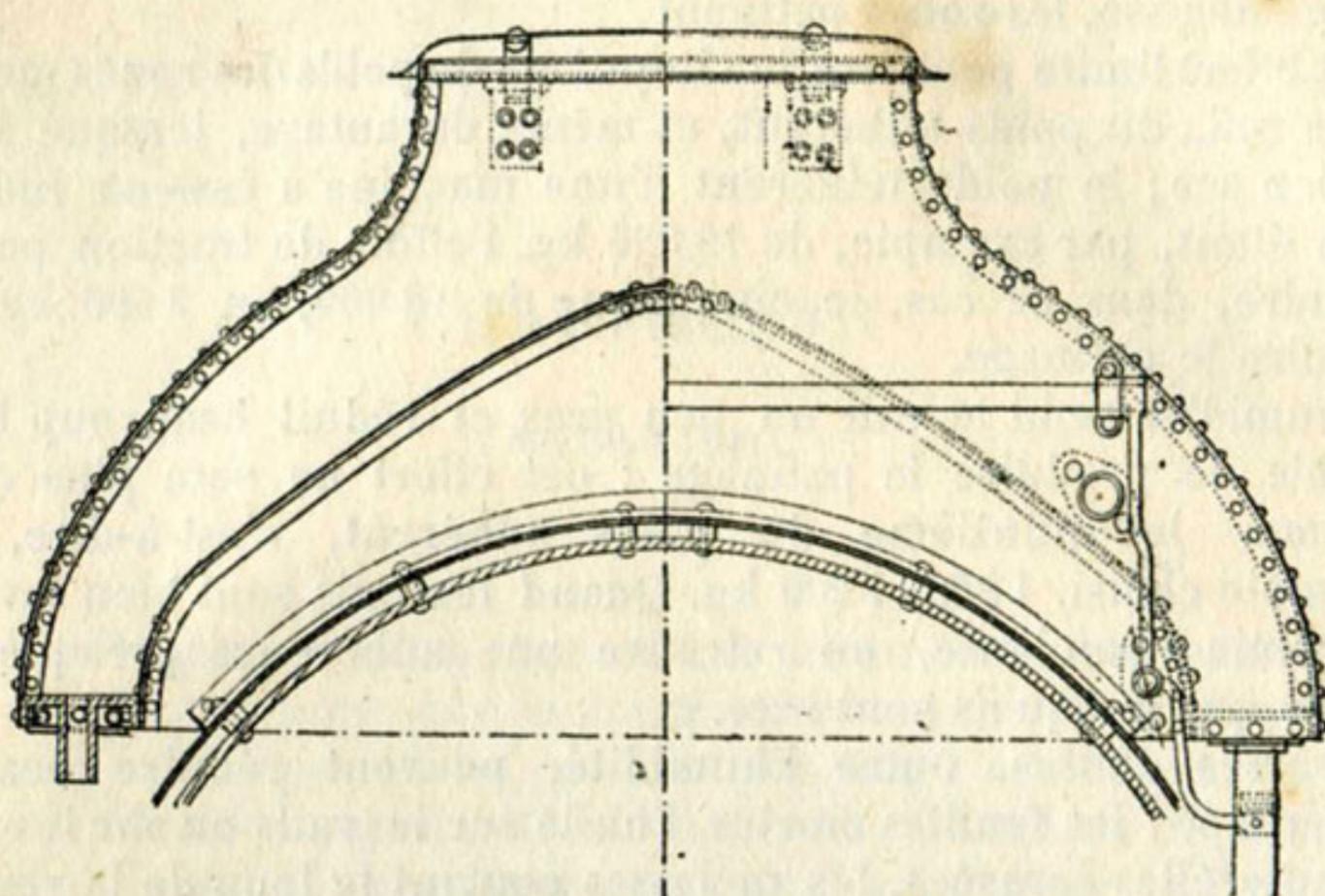


Fig. 93. — Sablière des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée ; un petit disque percé de deux trous peut tourner sur le fond horizontal de la boîte, de manière à démasquer l'ouverture de l'un ou l'autre des tuyaux qui aboutissent en avant et en arrière de la roue : la tige transversale, qu'on voit sur le dessin, transmet le mouvement d'un côté à l'autre de la boîte.

que un orifice au fond de la sablière (fig. 93 et 94), ou bien il est

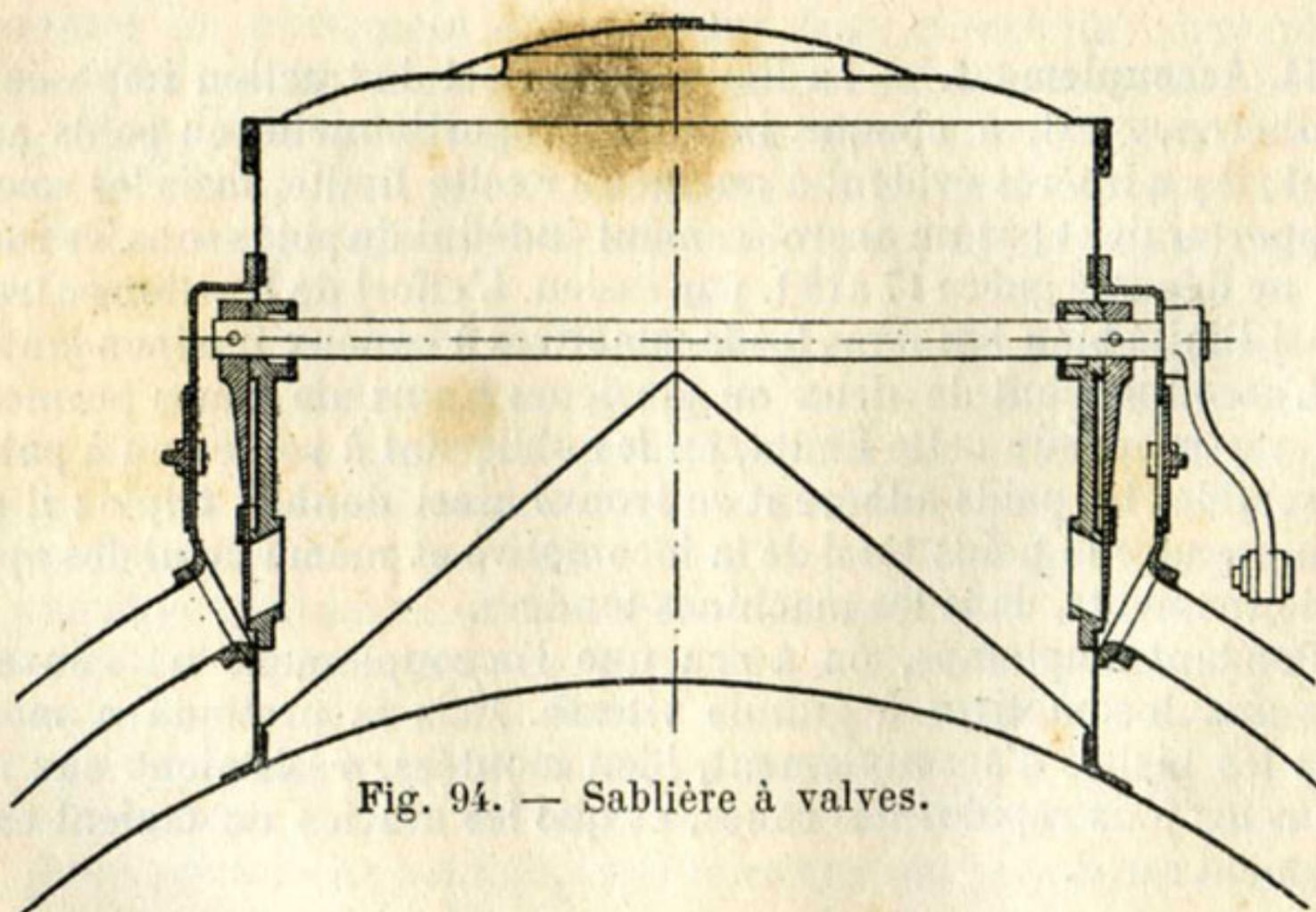


Fig. 94. — Sablière à valves.

versé dans les tuyaux par un distributeur en hélice qu'on fait tourner à la main (fig. 95).

Ces sablières simples ne sont pas très satisfaisantes : le sable

coule inégalement et forme des paquets, qui, bien qu'écrasés par les roues motrices, gênent le roulement des roues suivantes et augmen-

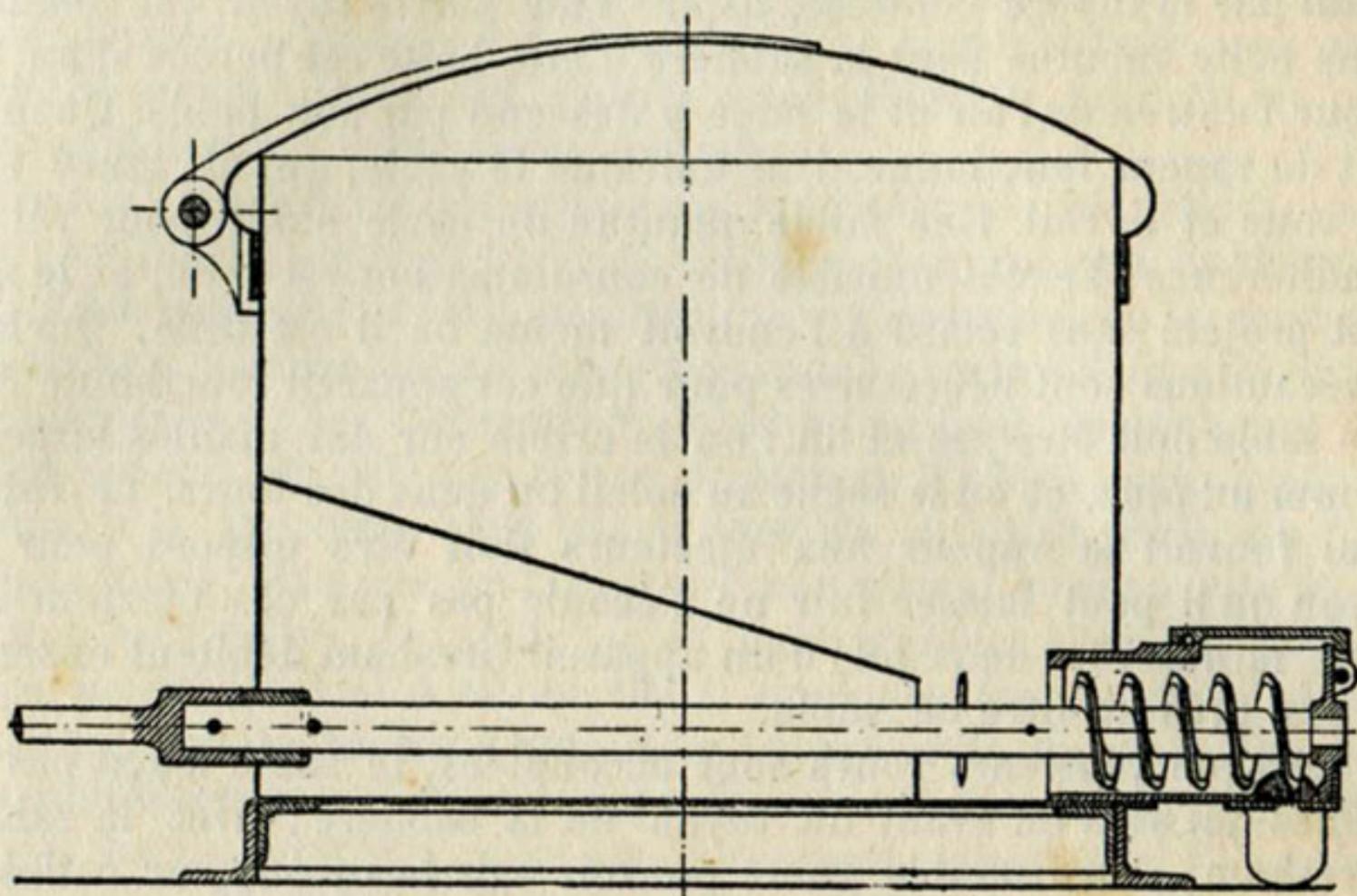


Fig. 95. — Sablière à distributeur hélicoïdal.

tent la résistance du train; puis le sable tombe à quelque distance en avant des roues motrices, de sorte qu'il n'agit pas au premier

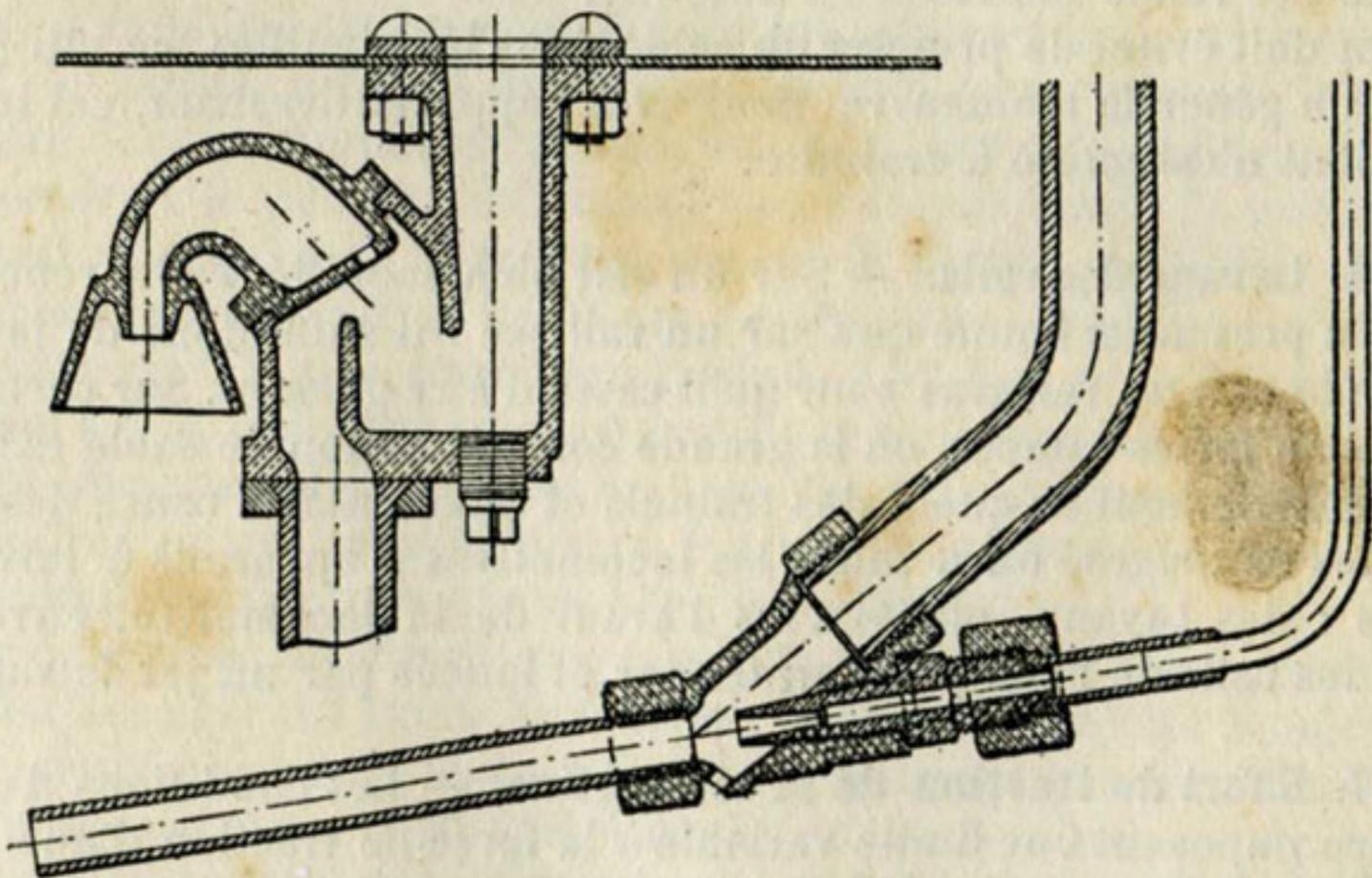


Fig. 96. — Appareil Gresham : boîte d'aspiration, où tombe le sable; éjecteur à vapeur, recevant la vapeur par le petit tuyau, aspirant par le gros tuyau l'air chargé de sable et le projetant sous la roue.

instant d'un démarrage, et le vent peut l'emporter; enfin la dépense de sable est assez forte, et les sablières se vident avant le terme d'une étape, si les patinages sont fréquents.

Dans l'appareil Gresham (fig. 96), un petit éjecteur à vapeur est installé en avant de la roue motrice : le jet de vapeur, en s'échappant par la tuyère centrale, aspire l'air par le tuyau qui aboutit à une boîte montée sous la sablière. Cette boîte est percée d'un trou pour l'entrée de l'air et le sable y descend par son poids. Quand le jet de vapeur fonctionne, l'air entraîne le sable, qui est lancé entre la roue et le rail. Une faible quantité de sable suffit pour rétablir l'adhérence; l'excès nuisible de consommation est évité, et le sable est projeté sans retard à l'endroit même où il est utile. Quelques précautions sont nécessaires pour que cet appareil fonctionne bien. Le sable doit être sec et fin : on le crible sur des mailles larges de 2 mm au plus, et on le sèche au soleil ou dans des fours. Le robinet qui fournit la vapeur aux éjecteurs doit être disposé pour que l'eau qu'il peut laisser fuir ne s'écoule pas par ces éjecteurs. En une minute, les deux jets d'un appareil Gresham débitent ensemble à peu près un litre de sable.

Lorsque plusieurs roues sont accouplées, le sable n'agit pas sur celles qui sont en avant du tuyau de la sablière; avec la sablière Gresham, il ne semble guère pouvoir agir beaucoup sur celles qui suivent la roue atteinte par le jet. Beaucoup de locomotives, même des machines-tenders, n'ont de tuyaux à sable que pour la marche avant, ce qui rend la marche arrière plus difficile. Lorsque cette marche est fréquente, l'addition de tuyaux donnant du sable à l'arrière des roues motrices est utile (fig. 93).

On doit éviter de projeter du sable dans les aiguilles, ce qui pourrait en gêner la manœuvre; mais avec l'appareil Gresham, cet inconvénient n'est guère à craindre.

66. Lavage des rails. — Sur un rail bien mouillé, l'adhérence est à peu près aussi bonne que sur un rail sec : il suffit donc de laver à grande eau un rail gras pour qu'il cesse d'être glissant. Sur certaines lignes à fortes rampes, où la grande consommation de sable exigeait un déblaiement fréquent des tunnels et augmentait l'usure des rails et des bandages, on a muni les locomotives d'appareils à laver les rails : des tuyaux, placés vers l'avant de la locomotive, envoient sur les rails de l'eau prise au tender et lancée par un jet de vapeur.

67. Effort de traction de la locomotive. — Les conditions d'adhérence imposent une limite variable à la force de traction d'une locomotive; l'étude de la distribution et du mécanisme montre comment la force de traction est produite par la vapeur, et ne dépasse pas certaines valeurs. Il faut éviter toute confusion entre ces deux limites de l'effort de traction; si l'effort que peut produire la vapeur dépasse celui que l'adhérence permet d'utiliser à certains moments, il est possible de réduire cet effort; on peut aussi améliorer l'adhérence à l'aide du sable ou autrement; elle s'améliore spontanément

certains jours et en certaines saisons. Mais si c'est l'effort moteur de la vapeur qui est trop faible, si grande que soit l'adhérence, il n'y a pas de remède : on ne pourra dépasser cet effort.

En d'autres termes, on peut arriver à se tirer d'affaire, non sans peine, il est vrai, quand l'adhérence est insuffisante, mais on ne peut pas remédier à la faiblesse du moteur.

Lorsqu'on construit des machines puissantes en réduisant autant que possible le poids des pièces, il arrive souvent que l'adhérence est faible comparée à la puissance : c'est pourquoi on a quelquefois alourdi les machines à dessein et sans autre motif. Sur des lignes de plaines, où les locomotives à marchandises remorquent des trains pesant 700, 800 t et même davantage, l'addition de quelques tonnes à la machine n'est guère sensible, si on la compare à la charge totale. Mais sur les lignes de montagnes, à rampes de 20, de 40 mm par mètre, le poids qu'on peut traîner n'est pas grand : si ce poids descend à 80 ou 100 t, quelques tonnes de plus à la machine, qui réduisent d'autant la charge utile du train, ne sont pas indifférentes : il faut y regarder à deux fois avant d'alourdir exprès les locomotives, pour améliorer leur adhérence. Il convient alors de rendre adhérent, autant que possible, tout le poids nécessaire pour le moteur, notamment en supprimant les tenders séparés.

Comment calcule-t-on l'effort de traction, qui est ordinairement indiqué sur le tableau des dimensions des locomotives ? Si la vapeur, prise à la plus forte pression que doit supporter la chaudière, pousse le piston pendant sa course entière, sans aucune détente, l'autre face communiquant constamment avec l'échappement, on obtiendrait le plus grand travail possible par coup de piston. Ce travail est égal à la force qui pousse le piston multipliée par sa course ; avec un piston de 45 cm de diamètre, dont la surface est de 1 590 cm², et une chaudière timbrée à 10 kg, cette force atteint 15 900 kg. Si la course est de 0,6 m, le travail sera $15\,900 \times 0,6$ ou 9 550 kilogrammètres ; pour un tour de roues, comme il y a deux cylindres et que chaque piston fait une excursion aller et retour, le travail moteur sera quatre fois plus grand.

D'autre part, le travail exercé par la locomotive, pour un tour de roues, est égal à l'effort de traction appliqué entre les roues et le rail, multiplié par le chemin parcouru pendant que ces roues font un tour : ce chemin est égal à la circonférence d'une roue ; le diamètre des roues étant de 1,400 m, la circonférence est de 4,400 m environ.

Si les frottements ou d'autres résistances ne causeraient aucune perte dans la transmission du travail des pistons aux roues motrices, le travail de l'effort de traction pendant un tour de roues serait égal à celui de la vapeur sur les pistons, à 4 fois 9 550 ou 38 200 kilogrammètres dans l'exemple. Ce travail connu est le produit de l'ef-

fort de traction moyen par la longueur parcourue, 4,400 m : l'effort de traction est donc 38 200 divisé par 4,400 ou 8 700 kg environ.

C'est ce qu'exprime la formule $\frac{4 p \frac{3,14}{4} d^2 l}{3,14 D}$, qui se réduit à $\frac{p d^2 l}{D}$, où p est la pression effective de la vapeur par centimètre carré, d le diamètre du cylindre en centimètres, l la course du piston, en mètres, à compter quatre fois pour un tour de roues, D le diamètre des roues motrices, en mètres.

En réalité, on ne peut développer un si grand effort de traction, parce que la vapeur n'agit jamais à pleine pression pendant toute la course du piston, et parce que les frottements sont inévitables. On estime qu'avec les dispositions usuelles des locomotives, on ne peut recueillir qu'environ les deux tiers, ou 0,65, du travail calculé : c'est ce qu'indique la formule $0,65 \frac{p d^2 l}{D}$. Cette réduction est assez largement estimée, et il arrive que les locomotives développent un effort supérieur.

Cette traction est celle qu'exercent les roues motrices ; elle sert non seulement à tirer le train, mais encore à faire avancer la locomotive elle-même : l'effort sur le crochet de traction d'arrière, qu'enregistre le dynamomètre, est donc moindre. Enfin l'action motrice des pistons sur les roues n'est pas constante pendant un tour, ce qui ne trouble pas l'égalité du travail exprimée, mais risque de produire le patinage pour certaines positions des pistons.

L'effort de traction, ainsi calculé, ne peut être développé par la locomotive pendant longtemps, à moins qu'elle ne marche fort lentement, car la chaudière ne fournirait pas toute la vapeur nécessaire, qui est d'ailleurs mal utilisée quand elle ne se détend pas dans les cylindres.

Pour tirer bon parti des machines, il importe de leur donner des charges aussi lourdes que possible : ces charges dépendent, pour une machine donnée, de la vitesse de marche, des rampes et des courbes, enfin de l'état atmosphérique, qui agit sur l'adhérence, et aussi sur les résistances du train. C'est en définitive la vaporisation de la chaudière qui impose à la charge une limite : cependant, à faible vitesse, les conditions d'adhérence peuvent quelquefois obliger à la réduire ; cette réduction est même parfois nécessaire pour ne pas surmener les attelages, qui ne peuvent supporter avec sécurité qu'un effort limité à un certain nombre de tonnes.

Lorsque les rampes ne sont pas longues, l'élan du train permet de les franchir plus facilement. Les courbes causent une résistance qu'on peut assimiler à celle d'une rampe d'un certain nombre de millimètres par mètre. Quant à l'effet, très variable, des conditions atmosphériques, on en tient compte, d'une manière générale, en

fixant des charges différentes pour l'hiver et pour l'été, et par des réductions temporaires ou exceptionnelles.

Sur les chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, on a calculé, pour chaque section, une rampe fictive qui représente l'effet des déclivités réelles et des courbes ; la section est supposée présenter cette rampe fictive en alignement droit, sur toute sa longueur. Comme les trains les plus rapides peuvent le mieux franchir par élan certaines rampes, il en résulte que la rampe fictive a une moindre valeur pour ces trains. Elle est, bien entendu, différente pour les deux sens du parcours. Le tableau, qui suit, donne, comme exemple, les rampes fictives pour les trois sections de la ligne de Paris à Tonnerre. Ces rampes sont indiquées en millimètres et fractions de millimètre par mètre. Les vitesses sont les vitesses moyennes de marche dans la section.

VITESSES EN KILOMÈTRES A L'HEURE	20	30	40	50 à 60
Paris à Montereau . .	3	2,7	2,4	2,25
Montereau à Laroche .	2,5	2,3	2,1	2
Laroche à Tonnerre. .	2,75	2,55	2,35	2,25
Tonnerre à Laroche. .	3	2,7	2,4	2,25
Laroche à Montereau .	2	1,6	1,2	0,8 à 0,5
Montereau à Paris . .	1	0,8	0,6	0,5

Des tableaux donnent, pour chaque série de machine, les charges qu'elles doivent remorquer, aux diverses vitesses, sur les diverses rampes fictives. Les charges des trains sont calculées approximativement en tonnes.

68. Régulateur des locomotives. — Le mécanisme de prise de vapeur s'appelle régulateur sur les locomotives. Le régulateur des machines fixes est un appareil différent, qui agit automatiquement sur l'admission de vapeur, de manière à maintenir à peu près constante la vitesse de marche, malgré les variations du travail résistant. Sur la locomotive, on peut régler le travail moteur en ouvrant plus ou moins la prise de la vapeur, ce qui justifie le nom de régulateur ; mais ce n'est pas le seul mécanisme qui produise cet effet.

Le régulateur consiste le plus souvent en une plaquette ou tiroir de bronze, placé dans l'intérieur de la chaudière et pouvant ouvrir ou fermer une lumière en communication avec des tuyaux qui aboutissent aux boîtes à vapeur des cylindres (fig. 97). La pression de la vapeur dans la chaudière fait coller ce tiroir sur sa table. On

emploie aussi, en Amérique et en Angleterre, la soupape équilibrée à double siège.

Lorsque le régulateur n'ouvre qu'une étroite issue à la vapeur, il

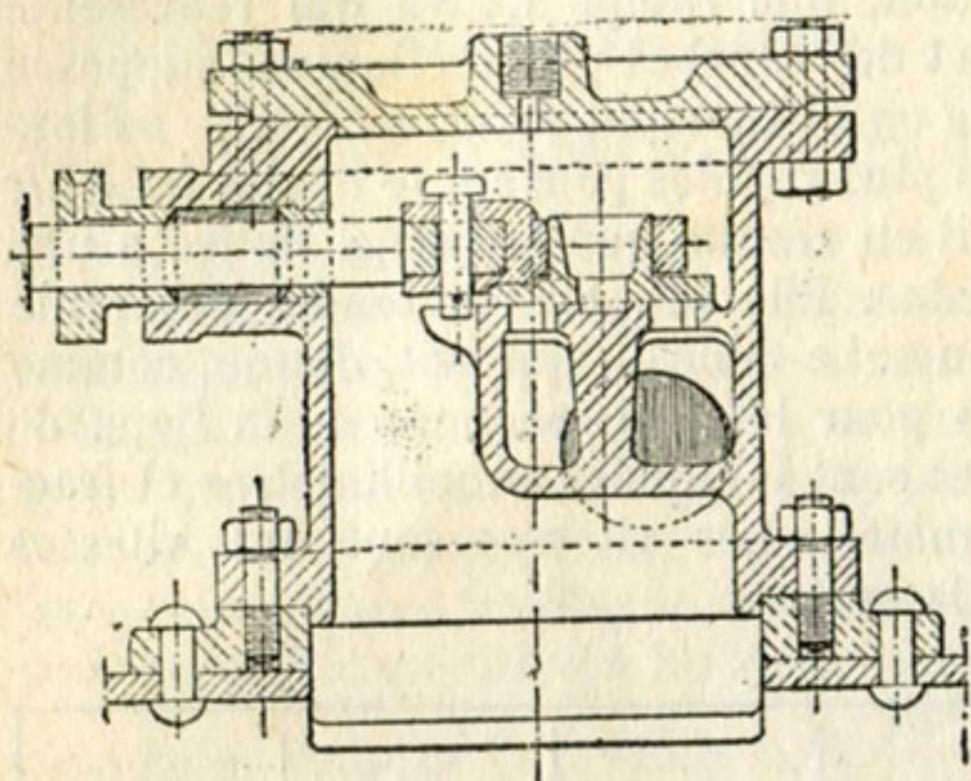


Fig. 97. — Régulateur du type *Crampton*, à un tiroir.

se produit un laminage, et la pression de la vapeur s'abaisse. On peut graduer cet effet avec le régulateur à deux tiroirs (fig. 98) : le tiroir supérieur commence par démasquer une petite lumière ménagée dans le tiroir inférieur. Cette disposition permet d'éviter les à-coups aux démarrages et dans les manœuvres. Elle a aussi l'avantage de rendre plus douce la manœuvre : dès que le petit tiroir est déplacé, la vapeur, pénétrant sous le grand tiroir,

réduit la pression qu'il supporte et, par suite, le frottement à vaincre pour le mouvoir. Par contre le régulateur est moins simple et moins étanche.

Beaucoup de régulateurs comportent une boîte en fonte du type *Crampton*; cette disposition a été imaginée pour les locomotives *Crampton*, dont les cylindres sont montés vers le milieu du corps cylindrique. Quand les cylindres sont au-dessous de la boîte à fumée, elle n'a plus les mêmes avantages : elle est d'ailleurs commode, mais on peut lui reprocher de faire passer les tuyaux de vapeur à l'extérieur de la chaudière, ce qui, malgré les enveloppes, cause une certaine perte de chaleur par condensation d'une partie de la vapeur. Les régulateurs placés dans le dôme, avec tuyaux à l'intérieur de la chaudière et dans la boîte à fumée, sont préférables sous ce rapport : ils consistent en un tiroir jouant sur une table verticale (fig. 99). Ils doivent être montés de manière à se fermer par leur poids en cas de rupture de la tige de commande.

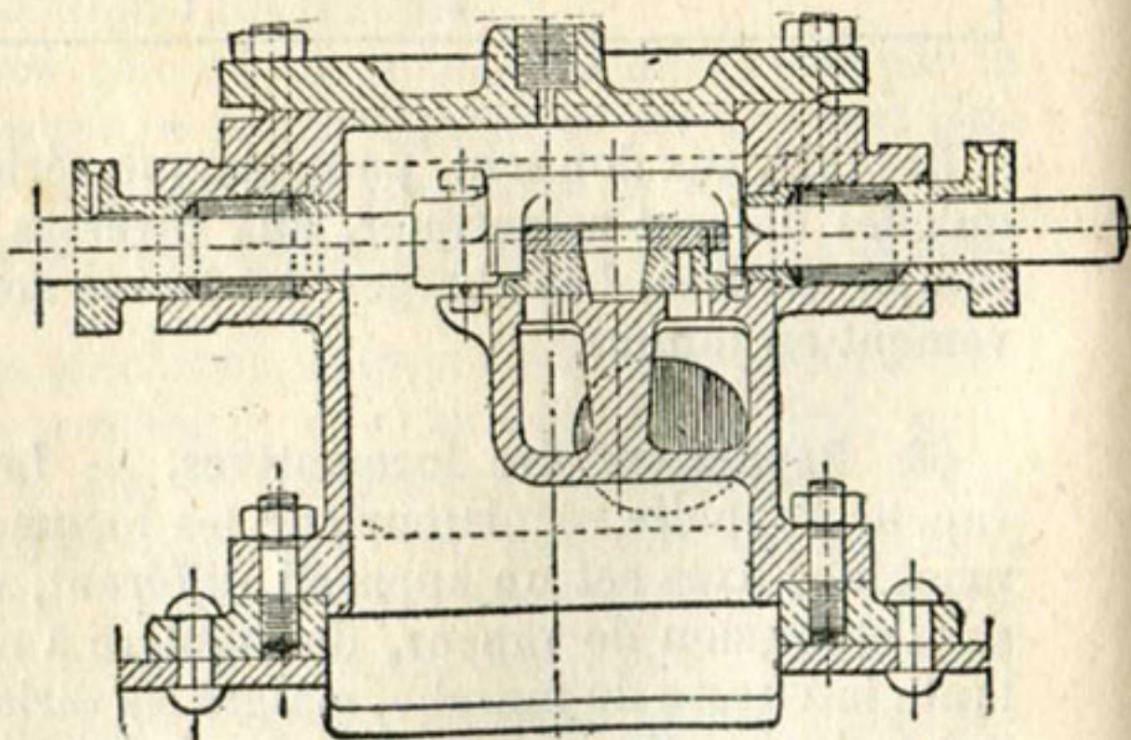


Fig. 98. — Régulateur du type *Crampton*, à deux tiroirs, avec contre-tige.

Un godet à deux robinets permet de graisser le régulateur; il faut s'en servir avec modération, surtout pour les régulateurs montés dans le dôme, à cause de l'action fâcheuse de l'huile dans les chaudières.

Les régulateurs du type Crampton sont manœuvrés à l'aide d'une tringle, qui sort à travers une garniture, et qui est commandée par un levier placé à la main du mécanicien. La pression de la vapeur s'exerce, sans être contre-balancée, sur une surface égale à la section de la tige et tend à la pousser, en ouvrant le régulateur. Si le diamètre de la tige est de 36 mm, la section est d'environ 10 cm². Avec la pression de 12 kg par cm², adoptée pour certaines chaudières, c'est une force de 120 kg à laquelle les frottements seuls résistent, à moins qu'on ne fasse usage d'une contre-tige, qui supprime la poussée de la vapeur (fig. 98).

La dilatation de la chaudière, lors de la mise en pression, peut déplacer le régulateur: la tige, restant froide, ne se dilate pas; l'effet est le même que si elle se raccourcissait de quelques millimètres: si le levier touche l'arrêt de son support, c'est le tiroir qui est tiré par suite de ce raccourcissement. Il faut tenir compte de cet effet et donner aux tiroirs des régulateurs des recouvrements assez étendus pour que ces petits mouvements ne démasquent jamais les lumières.

Le régulateur monté dans le dôme est souvent manœuvré par une tige tournante placée dans la chaudière, traversant, dans une garniture, la face arrière de la boîte à feu, et terminée à l'extérieur par un levier. Le mécanicien a ce levier sous la main, même s'il se porte à la gauche de sa machine et lorsqu'il regarde du côté du tender, dans la marche arrière.

On commande aussi le régulateur dans le dôme par un levier horizontal, monté sur le côté de la machine et agissant sur un renvoi de sonnette.

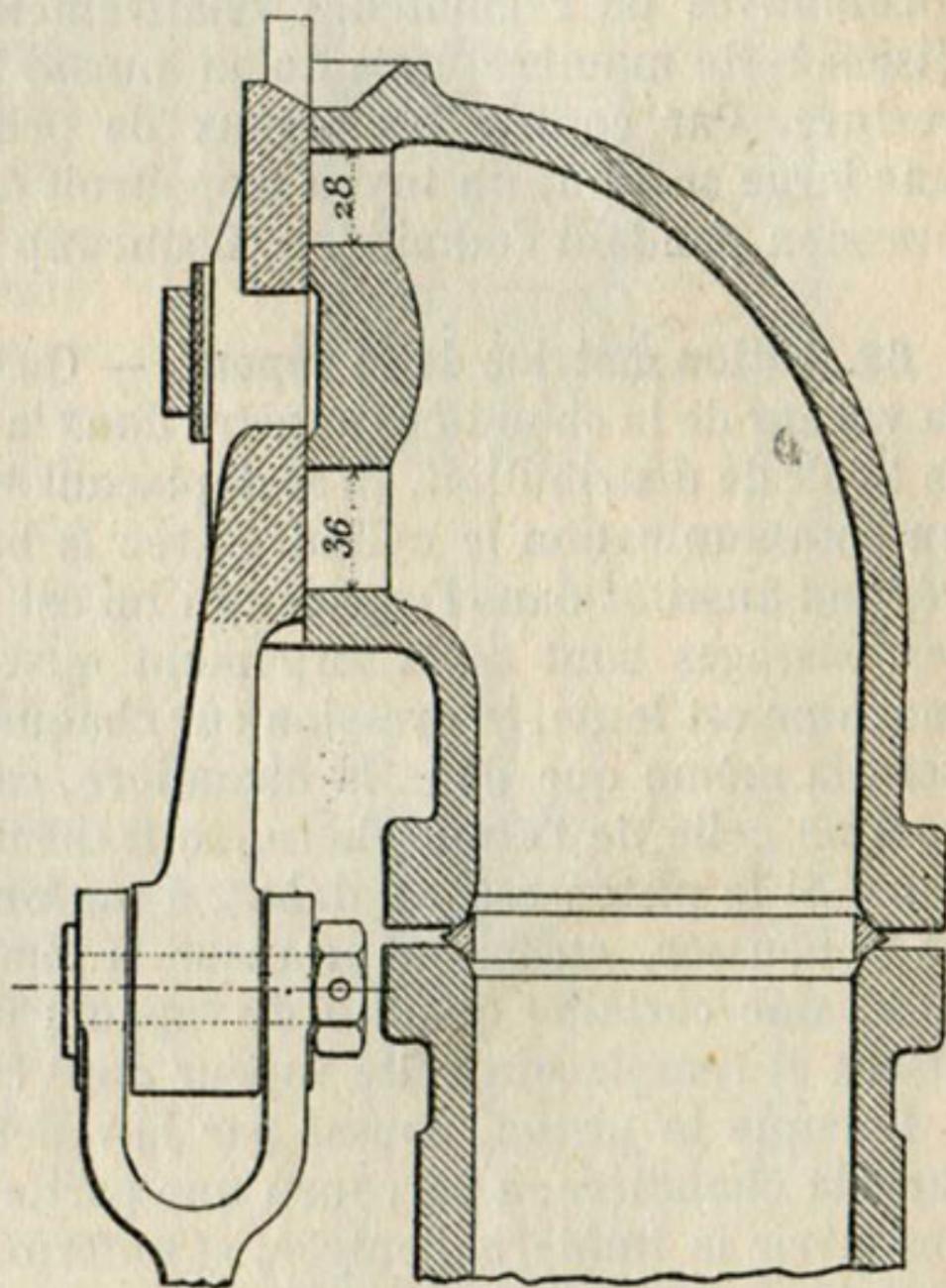


Fig. 99. — Régulateur à un tiroir placé dans le dôme (locomotives des chemins de fer de l'Ouest).

Les fuites des régulateurs sont à craindre, parce qu'elles peuvent causer une mise en marche intempestive, si on a oublié d'ouvrir les purgeurs pendant un stationnement.

De récentes expériences, faites avec l'*auto-indicateur* des chemins de fer de l'Ouest, ont montré que la section ouverte d'un régulateur n'a pas besoin, en général, d'être très large, ce qui justifie l'habitude, qu'ont beaucoup de mécaniciens, de ne jamais l'ouvrir en grand. On peut en conclure qu'il y aurait avantage à munir les locomotives de régulateurs relativement petits, à un seul tiroir, disposés de manière à ce qu'on puisse facilement en graduer l'ouverture. Par contre, les tuyaux de prise de vapeur doivent avoir une large section, un tuyau trop étroit donnant lieu à des chutes de pression pendant l'admission, beaucoup plus qu'un petit régulateur.

69. Action motrice de la vapeur. — Quand le régulateur est ouvert, la vapeur de la chaudière pénètre dans la boîte à vapeur du cylindre ; le tiroir de distribution, en se déplaçant sur la table des lumières, met en communication le cylindre avec la boîte à vapeur. La vapeur se répand aussitôt dans l'espace qui lui est offert et presse le piston. Si les passages sont assez largement ouverts, et si la marche de la machine est lente, la pression sur chaque centimètre carré du piston sera la même que dans la chaudière, car la pression de la vapeur, comme celle de l'atmosphère, se transmet également dans tous les sens. Si le piston est, au début, à un fond de course, cette pression va le pousser, en faisant avancer la machine. Il sortira de la chaudière une certaine quantité de vapeur ; un poids égal d'eau se vaporisera et remplacera cette vapeur dans la chaudière.

Lorsque le piston, poussé par la vapeur à la même pression que dans la chaudière, a parcouru une partie de sa course, le tiroir vient recouvrir la lumière d'entrée, et enferme ainsi dans le cylindre un certain volume de vapeur. A ce moment commence la détente : à mesure que le piston continue sa course, l'espace occupé par la vapeur enfermée dans le cylindre augmente ; en même temps la pression qu'elle exerce sur le piston diminue. La vapeur est comme un ressort qui produit un effort de moins en moins grand à mesure qu'il s'allonge.

Les physiciens ont étudié comment varie la pression de la vapeur, quand elle se détend de la sorte. Le praticien peut se contenter d'une règle simple et suffisamment exacte : au moment où finit l'admission, le cylindre contient un certain volume de vapeur, exerçant une pression connue par centimètre carré ; on calcule la pression absolue, en augmentant d'une unité la pression effective en kilogrammes par centimètre carré ; on multiplie le volume, en litres, par la pression absolue. Quand la détente a augmenté le volume de la vapeur, le produit de ce nouveau volume par la nouvelle pression absolue est toujours le même.

Tandis que le piston est ainsi poussé par la vapeur, l'autre face reçoit seulement la pression de l'atmosphère, pendant la plus grande partie de la course, parce que le cylindre communique de ce côté avec l'extérieur par la tuyère d'échappement.

70. Transmission du mouvement du piston. — Le piston se meut en ligne droite dans le cylindre et doit faire tourner l'essieu (fig. 100). Il est fixé sur une tige en acier, qui sort du cylindre à travers une garniture ne laissant pas fuir la vapeur. Pour bien supporter le piston, en vue de réduire l'usure du cylindre, on le munit parfois d'une contre-tige, qui sort à l'avant du cylindre à travers une seconde garniture.

La tige du piston s'emmanche dans la tête ou crosse de piston, munie de patins qui coulissent entre les glissières. La bielle motrice s'articule d'un côté sur la tête de piston, qui se meut en ligne droite comme le piston, et de l'autre sur le bouton ou tourillon de manivelle. Quand les cylindres sont intérieurs, le tourillon de manivelle fait partie d'un essieu coudé.

Lorsque le piston est à l'un de ses fonds de course, la manivelle est dite au point mort : elle est horizontale, si l'axe du cylindre l'est aussi, et dirigée suivant OM_1 ou OM_4 (fig. 100). En passant d'une position à l'autre, le point M , sur l'axe du bouton, décrit un cercle dont le centre est sur l'axe de l'essieu et dont le diamètre $M_1 M_4$ est égal à la course du piston. Sauf au passage des points

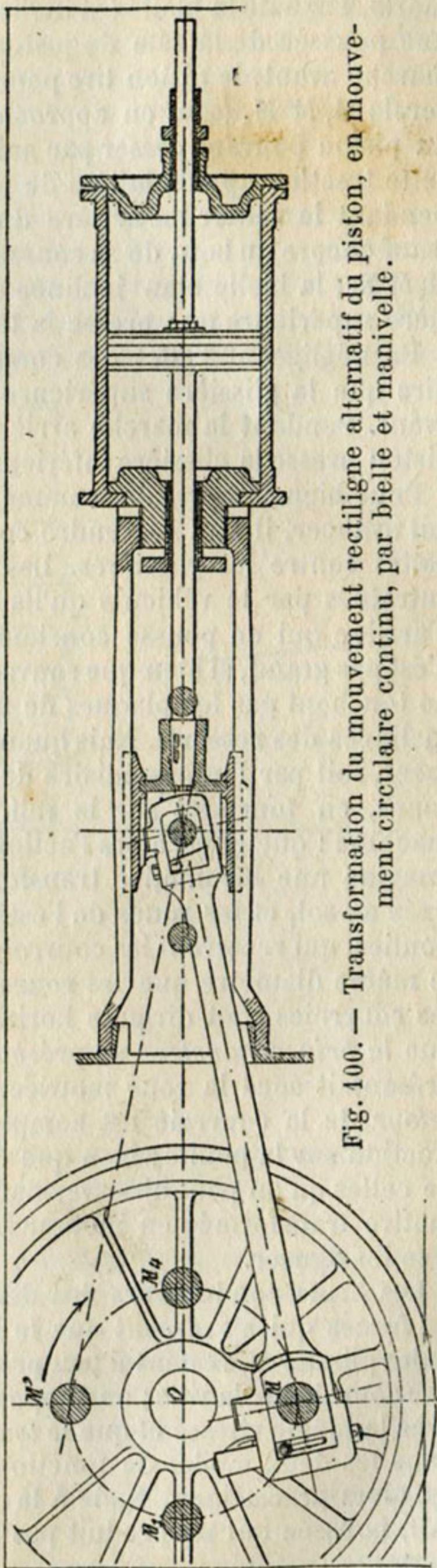


Fig. 100. — Transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston, en mouvement circulaire continu, par bielle et manivelle.

morts, l'axe de la bielle est incliné sur l'axe du cylindre : il en résulte une poussée de la tête de piston contre une des glissières. Dans la marche avant, le piston tire pendant que la manivelle décrit le demi-cercle $M_1 M' M_4$ (sauf en approchant du fond de course, la traction du piston pouvant cesser par suite de la compression de la vapeur) : cette traction appuie la tête de piston contre la glissière supérieure ; pendant le retour en arrière du piston, il pousse au lieu de tirer (sauf encore au bout de sa course) ; la manivelle décrit le demi-cercle $M_4 M M_1$; la bielle étant inclinée en sens inverse, c'est encore la glissière supérieure que presse la tête de piston.

En négligeant l'effet des compressions en fin de course, on peut dire que la glissière supérieure travaille seule pendant la marche avant. Pendant la marche arrière, on voit de même que la tête de piston presse la glissière inférieure seule.

Pour bien comprendre comment le mécanisme de la locomotive la fait avancer, il faut se rendre compte de la poussée exercée par les boîtes contre les glissières. Les essieux simplement porteurs sont entraînés par le véhicule qu'ils supportent : c'est donc la glissière d'arrière qui en pousse constamment les boîtes ; l'effort nécessaire n'est pas grand, si bien que souvent les boîtes des voitures à voyageurs ne touchent pas les plaques de garde et sont tirées par les menottes inclinées des ressorts. Mais quand un essieu est moteur, soit directement, soit par l'intermédiaire de bielles d'accouplement, ce sont ses roues, en tournant sur le rail sans patiner, qui font avancer la machine : quelle est alors l'action des boîtes sur les glissières ? Qu'on imagine une locomotive transformée en moteur d'atelier : elle est fixée au sol, et les roues de l'essieu moteur sont remplacées par des poulies, qui reçoivent les courroies ; on supposera que ces poulies ont le même diamètre que les roues dont elles ont pris la place et que les courroies sont dirigées horizontalement (fig. 101), de telle sorte que le *brin conducteur* se présente sous la poulie comme le rail se présentait sous la roue motrice. On admettra enfin que le *brin de retour* de la courroie est complètement lâche et n'exerce aucune traction sur la poulie ; bien que ces conditions diffèrent quelque peu de celles qu'on peut observer dans les ateliers conduits par une locomotive transformée en moteur fixe, on n'aura pas grande difficulté à se les figurer.

Les brins conducteurs des deux courroies remplacent les rails : les forces qui s'exercent sur le bâti, et notamment entre les boîtes et les glissières, restent à peu près les mêmes que lorsque la locomotive courait sur la voie ; on suppose, bien entendu, que l'essieu tourne avec la même vitesse et que le travail est le même par coup de piston, dans les deux modes de fonctionnement. La tension de la courroie est alors précisément égale à la poussée que la roue exerce sur le rail, poussée qui ne produit pas le patinage si l'adhérence est suffisante.

En examinant la marche d'une machine fixe, s'il y a un peu de jeu dans les paliers de l'arbre, on voit que, pendant un tour, cet arbre est alternativement poussé et tiré par le piston : de même, la boîte de la locomotive va être poussée contre la glissière arrière par le piston marchant d'avant en arrière, puis tirée contre la glissière avant, par le piston revenant d'arrière en avant. Mais en outre, la traction de la courroie (ou la réaction du rail contre la roue) s'exerce constamment dans le même sens et tend à toujours appliquer la boîte contre la glissière avant, avec une force égale à cette traction ; il en résulte que la poussée contre cette glissière est augmentée d'autant, tandis que la poussée contre la glissière arrière est diminuée.

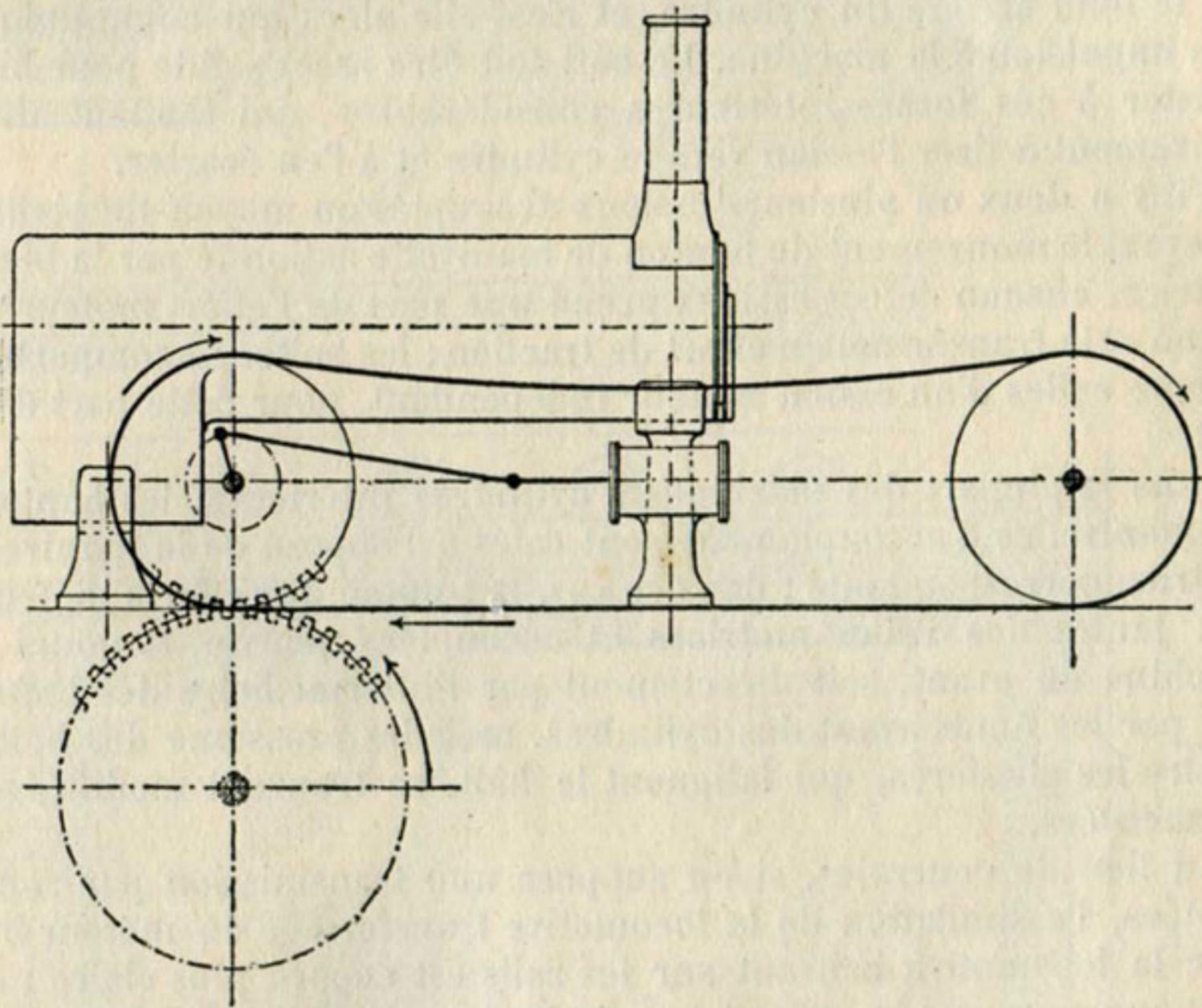


Fig. 101. — Transmission de l'effort moteur ; comparaison de la locomotive avec une machine fixe.

Si la poussée, variable suivant la pression de la vapeur sur le piston, atteint, dans chaque sens, 6 000 kg, et si la tension de chaque courroie, ou l'effort de traction à la jante de chaque roue, est alors de 2 000 kg, la poussée sur la glissière avant atteindra à chaque tour 8 000 kg, et la poussée sur la glissière arrière sera réduite à 4 000 kg ; ces variations produisent des chocs violents s'il y a trop de jeu entre la boîte et les glissières.

On a considéré isolément une seule boîte et le piston correspondant, supposé agir très près de la boîte, ainsi qu'on le voit sur les locomotives à cylindres extérieurs ; quand les cylindres sont inté-

rieurs, les deux mécanismes moteurs sont assez éloignés des boîtes, et leur action se combine d'une manière un peu plus compliquée.

On peut être surpris de voir les roues motrices, qui en somme font avancer la locomotive, appuyer à certains moments leurs boîtes contre les glissières arrière. Mais il ne faut pas oublier que le bâti est soumis à l'action d'autres forces : la vapeur presse toujours l'un ou l'autre fond du cylindre, exactement comme le piston ; on peut donc dire que lorsque la boîte de l'essieu moteur s'appuie contre la glissière arrière, c'est par le fond avant du cylindre que la vapeur pousse la locomotive ; au contraire, quand la boîte s'appuie contre la glissière avant, sa poussée contre-balance et dépasse la pression sur le fond arrière du cylindre, et c'est elle alors qui communique une impulsion à la machine. Le bâti doit être assez solide pour bien résister à ces forces intérieures considérables, qui tendent alternativement à tirer l'essieu vers le cylindre et à l'en écarter.

S'il y a deux ou plusieurs essieux accouplés au moyen de bielles, recevant le mouvement du bouton de manivelle actionné par la bielle motrice, chacun de ces essieux prend une part de l'effort moteur du piston et la transforme en effort de traction ; les boîtes se comportent comme celles d'un essieu moteur indépendant, pour cette part d'effort.

Dans la plupart des machines à cylindres intérieurs, les boutons de manivelles d'accouplement sont calés à l'opposé de la manivelle motrice correspondante ; dans ce cas, la somme des efforts moteurs aux jantes des roues motrices et accouplées pousse toujours la machine en avant, soit directement par l'intermédiaire des boîtes, soit par les fonds avant des cylindres, mais les pressions des boîtes contre les glissières, qui fatiguent le bâti, se trouvent modifiées et augmentées.

Au lieu de courroies, si on suppose une transmission par roues dentées, l'assimilation de la locomotive transformée en moteur fixe avec la locomotive courant sur les rails est encore plus claire : on peut supposer que le rail est une sorte de crémaillère à très petites dents.

71. Cylindres. — Les cylindres sont fixés aux longerons par des boulons enfoncés à force dans des trous alésés ; cette attache doit être très solide, sinon elle se disloque rapidement. Les cylindres sont à l'extérieur (fig. 102) ou à l'intérieur des longerons. Les cylindres extérieurs des locomotives américaines (fig. 103) sont boulonnés ensemble et sur les barres de fer qui constituent le châssis ; ils sont fondus avec une selle qui porte la chaudière. Les cylindres intérieurs (fig. 104) sont boulonnés ensemble, ou fondus en une pièce unique.

Le fond d'arrière, qui porte les glissières, ne se démonte pas en service, mais on retire fréquemment le plateau d'avant, ainsi que le couvercle de la boîte à vapeur. Il est mauvais d'exagérer l'épaisseur

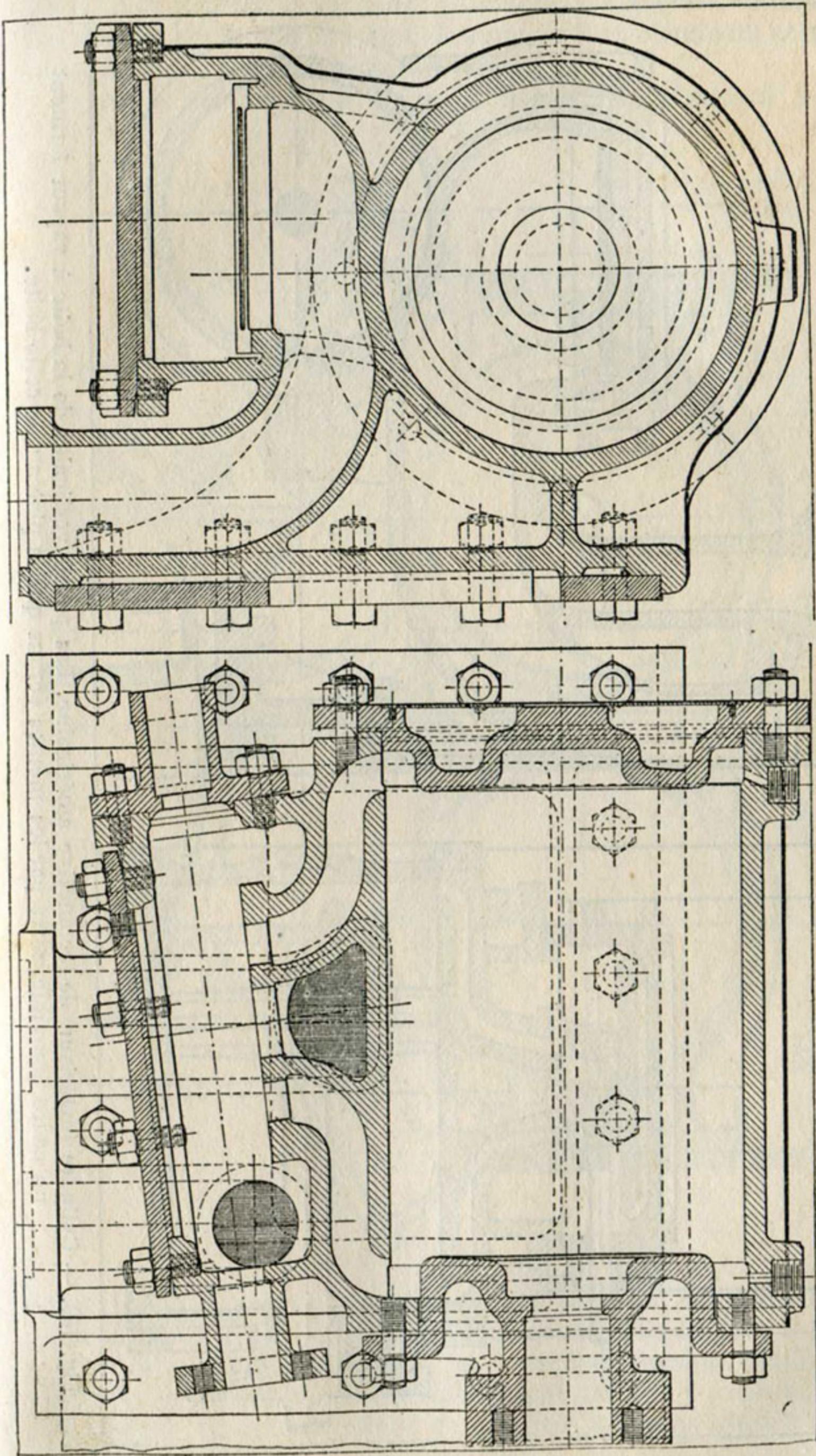


Fig. 102. — Cylindre extérieur des locomotives de gare n^{os} 0.901 à 0.958 des chemins de fer de l'Est, avec tige de tiroir inclinée.

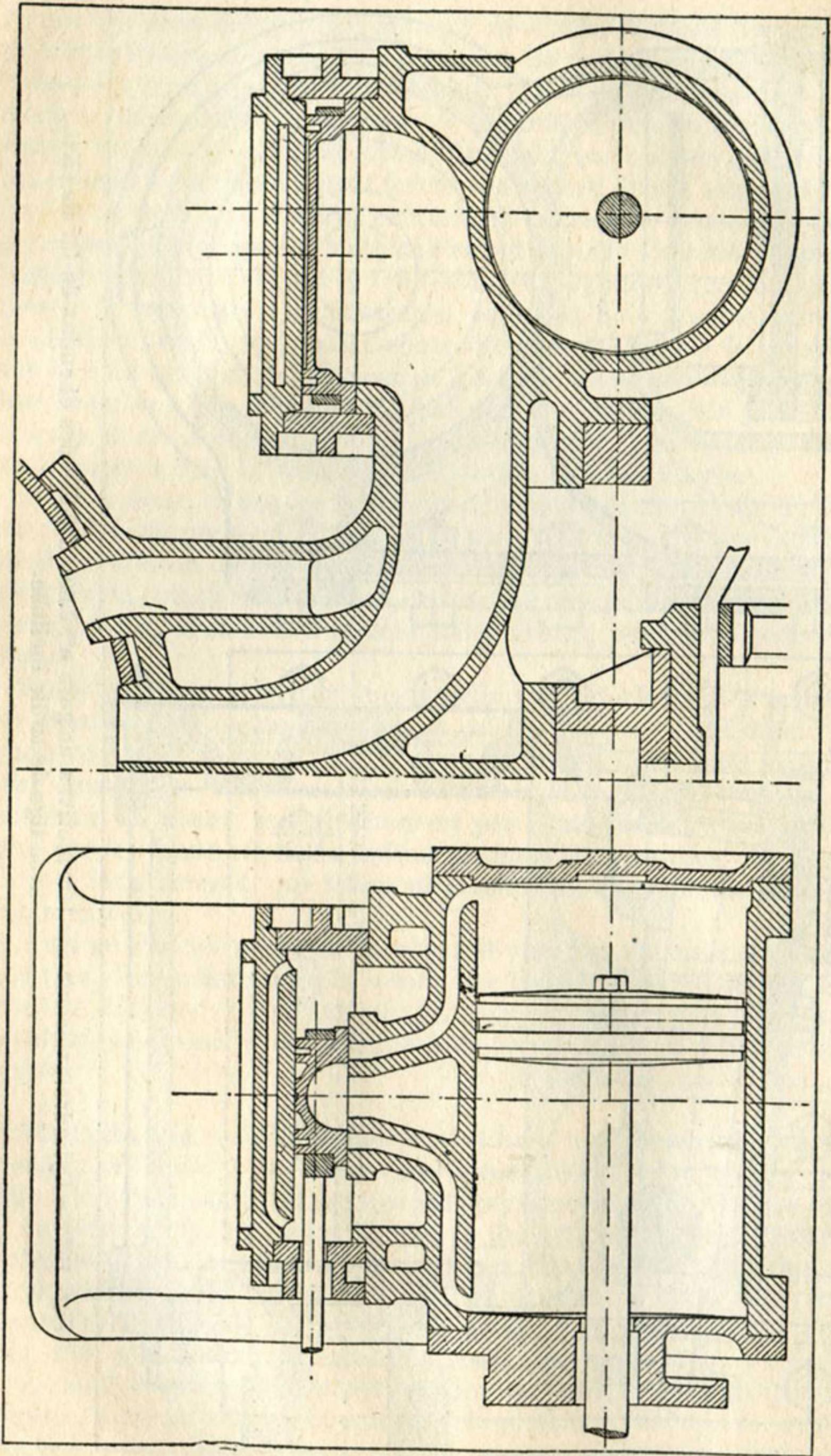


Fig. 103. — Cylindre (extérieur) de locomotive américaine. Les parois verticales de la boîte à vapeur forment un cadre amovible, serré par les mêmes écrous que le plateau de cette boîte.

du joint du plateau de cylindre, parce qu'on augmente ainsi l'espace libre laissé par le piston à fond de course : il en résulte un accroissement de la consommation de vapeur.

Avant de remonter les plateaux, il faut bien s'assurer qu'il ne

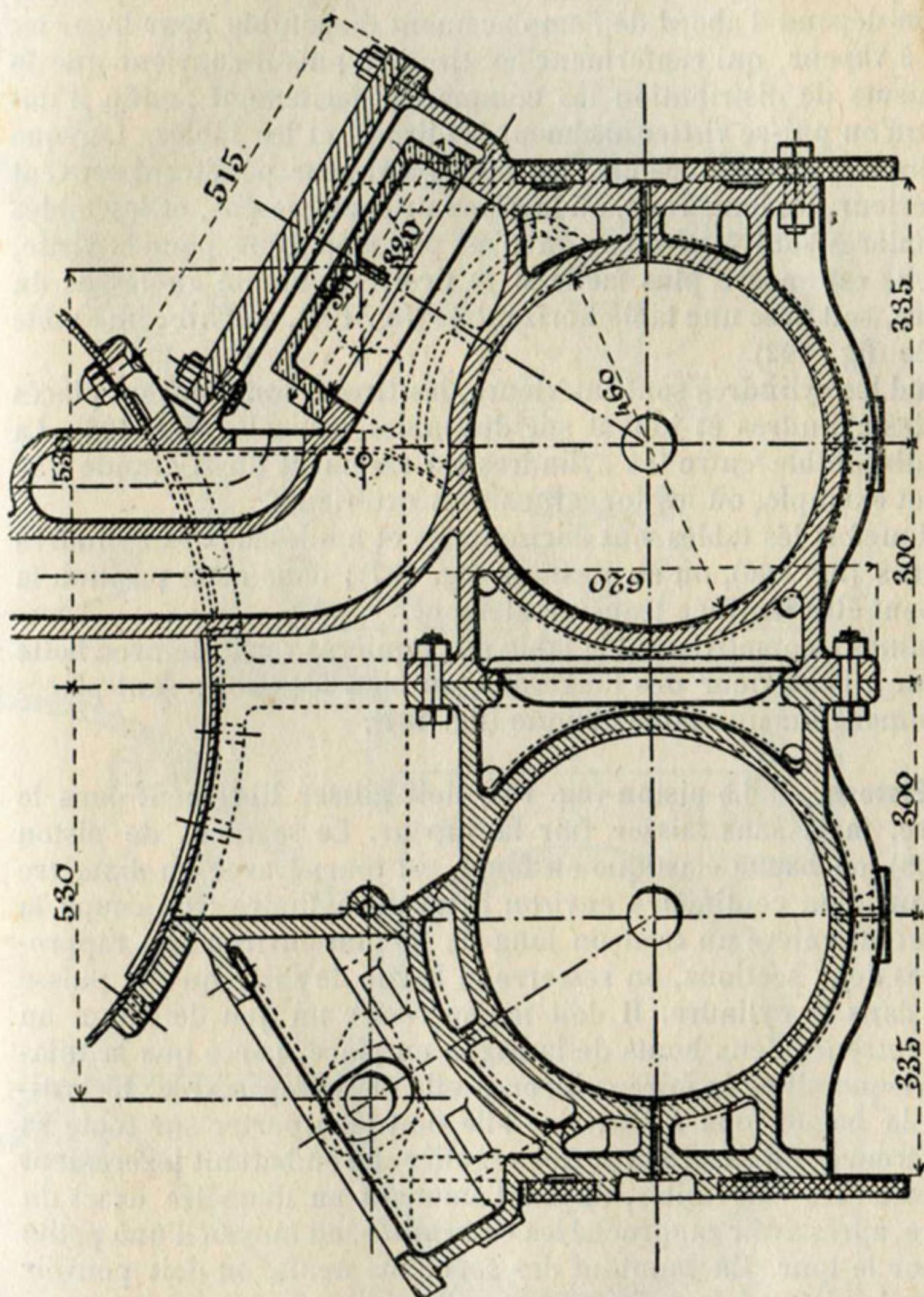


Fig. 104. — Cylindres intérieurs des locomotives nos 963-998 des chemins de fer de l'Ouest. D'après M. Demoulin.

reste pas, dans les replis des lumières, d'écrous, d'outils, de chiffons, ou tout autre objet pouvant endommager le cylindre.

Les enveloppes extérieures des cylindres doivent toujours être montées avec soin, car le refroidissement par l'air y cause une perte de chaleur nuisible. L'emploi de matières isolantes entre la fonte et

l'enveloppe en tôle est à recommander : les matières vitreuses en filaments, dites coton minéral, laine de scorie, conviennent pour cet usage, parce que la chaleur ne les altère pas. Il faut qu'elles remplissent bien les vides sans être par trop tassées.

Les tiroirs occupent diverses positions sur les cylindres. Cette position dépend d'abord de l'emplacement disponible pour loger les boîtes à vapeur, qui renferment les tiroirs ; puis il convient que le mécanisme de distribution les commande facilement ; enfin il importe qu'on puisse visiter aisément les tiroirs et les tables. Lorsque les cylindres sont extérieurs, les boîtes à vapeur pénètrent souvent à l'intérieur des longerons, où la place ne manque pas, et les tables des lumières sont verticales ; on n'est pas trop gêné pour la visite, mais elle est encore plus facile si le tiroir est monté au-dessus du cylindre, soit avec une table horizontale (fig. 103), soit avec une table inclinée (fig. 102).

Quand les cylindres sont intérieurs, les tiroirs sont souvent placés entre les cylindres et jouent sur des tables verticales (fig. 105). La place disponible entre les cylindres est rarement aussi grande que dans cet exemple, où les longerons sont extérieurs.

Quelquefois les tables sont horizontales et au-dessus des cylindres intérieurs (fig. 106), ou en dessous (fig. 107) ; dans cette position la table peut être inclinée transversalement.

Certaines locomotives ont la table des lumières verticale avec boîte à vapeur à l'extérieur des longerons, ou bien les tiroirs sont placés latéralement sur une table oblique (fig. 104).

72. Pistons. — Le piston (fig. 108) doit glisser librement dans le cylindre, mais sans laisser fuir la vapeur. Le segment de piston (fig. 109), ou bague élastique en fonte, est tourné avec un diamètre dépassant d'un centimètre environ celui du cylindre : on coupe la bague et on enlève un tronçon long de 30 mm environ ; en rapprochant les deux sections, on resserre la bague de sorte qu'elle puisse entrer dans le cylindre. Il doit même rester un jeu de 2 mm au moins entre les deux bouts de la bague en place, parce que la dilatation risquerait de la faire coincer si elle était trop serrée. L'élasticité de la bague tend à l'ouvrir ; elle doit bien porter sur toute sa circonférence : on assure la portée régulière en en battant légèrement au marteau les extrémités, ou en l'amenant au diamètre exact du cylindre, après avoir rapproché les extrémités, au moyen d'une petite passe sur le tour. En montant des segments neufs, on doit pouvoir déplacer le piston à la main sans trop de peine.

A mesure que l'extérieur du segment et le cylindre s'usent, le segment s'ouvre de plus en plus, et il presse de moins en moins les parois ; il faut le changer quand il bâille de 10 mm environ. Le joint, bien que brisé, laisse à la vapeur un petit passage, qui s'agrandit par l'usure. La vapeur entre en effet sous le segment et fuit par

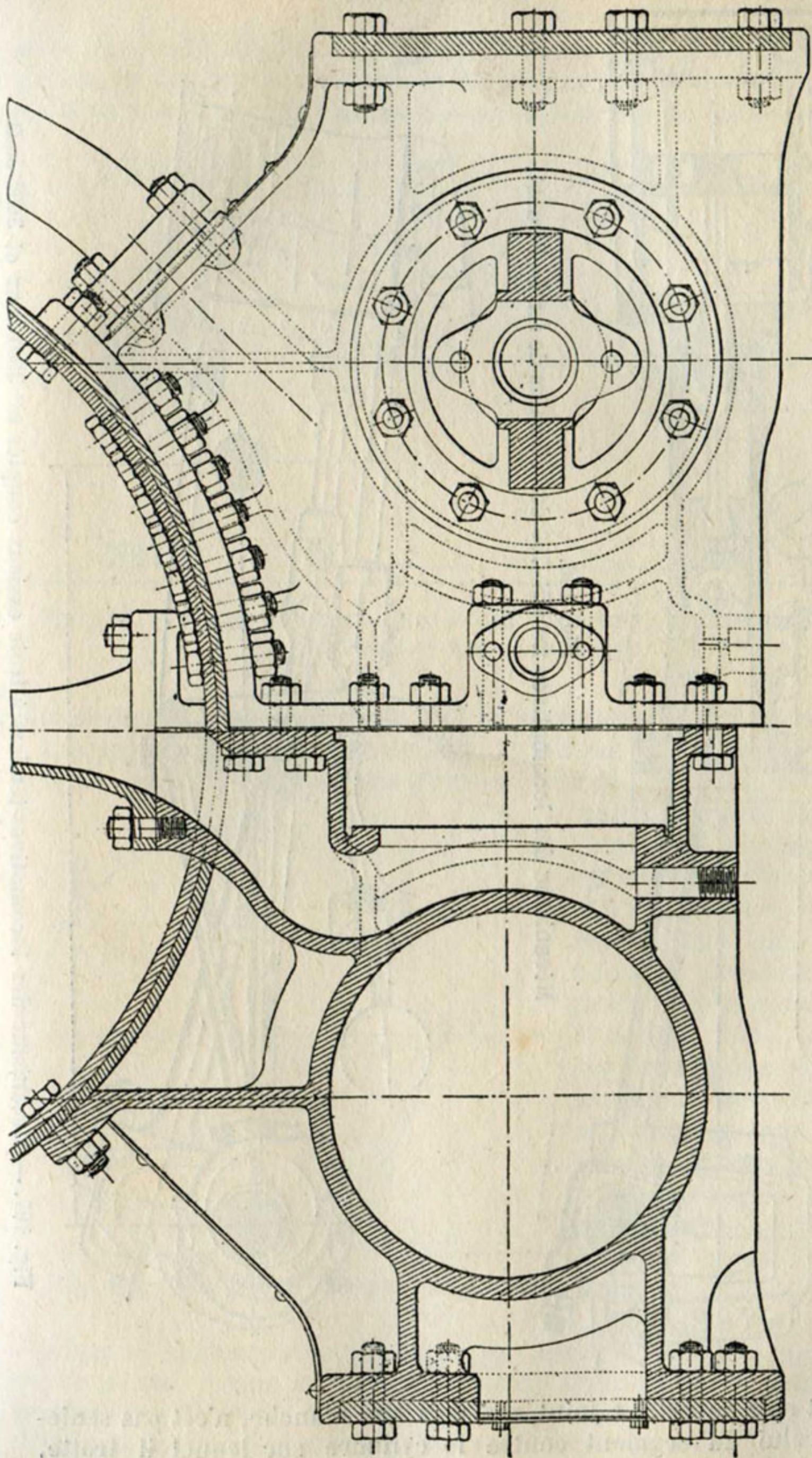


Fig. 105. — Cylindres intérieurs des locomotives-tenders à trois essieux couplés des chemins de fer de l'Est, avec tiroirs sur tables verticales entre les cylindres. Ces cylindres sont boulonnés contre des longerons extérieurs.

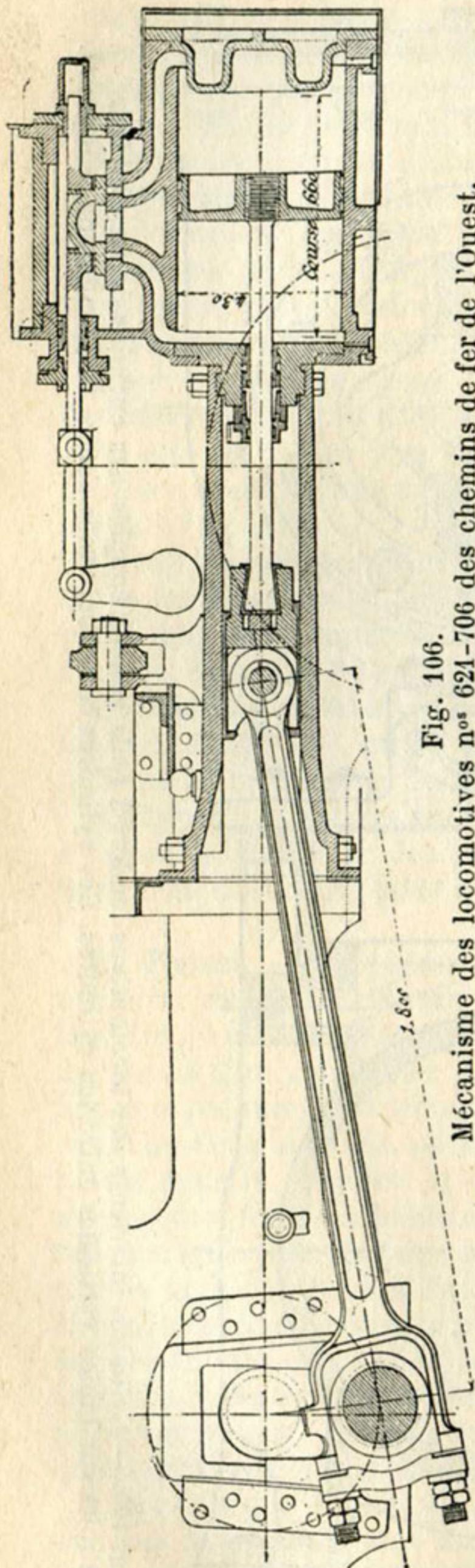


Fig. 106.
Mécanisme des locomotives nos 621-706 des chemins de fer de l'Ouest.

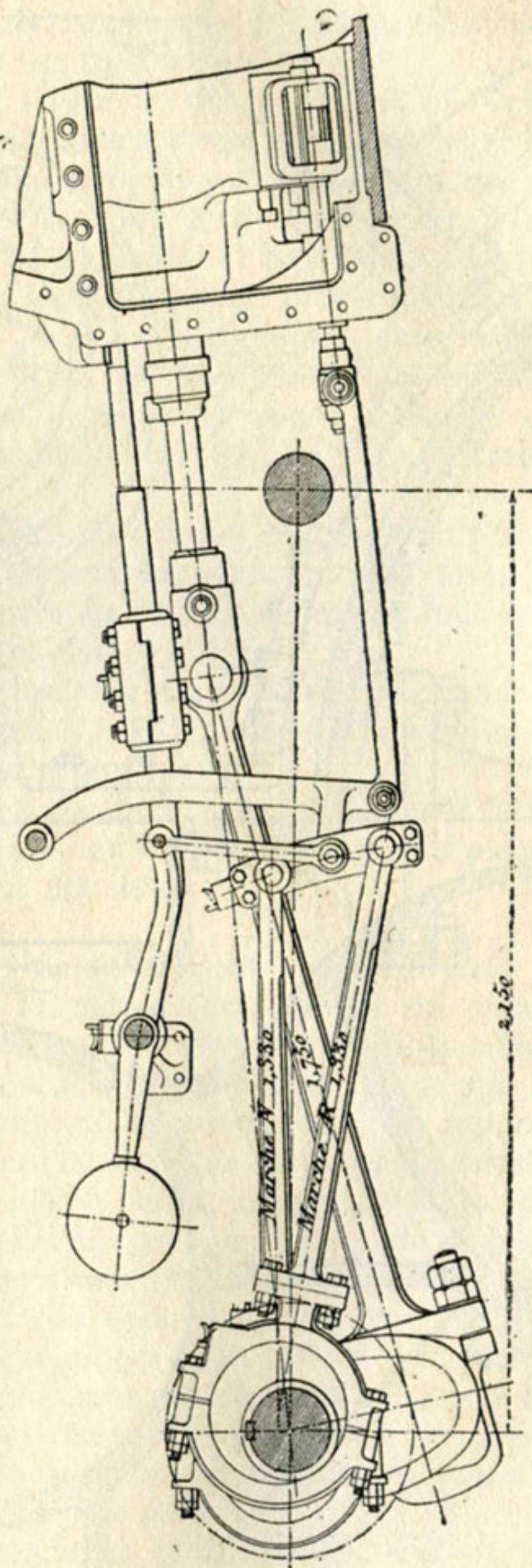


Fig. 107. — Mécanisme des locomotives-tenders à trois essieux couplés nos 3501-3602 et 3002-3031 des chemins de fer de l'Ouest.

le joint entr'ouvert. Le joint, qui doit être étanche, n'est pas seulement celui du segment contre le cylindre sur lequel il frotte,

mais aussi celui du plat du segment contre le bord de la rainure du piston. Ce fait, vu le changement de sens continu de la pression de la vapeur, explique l'usure des gorges du piston. Grâce à l'em-

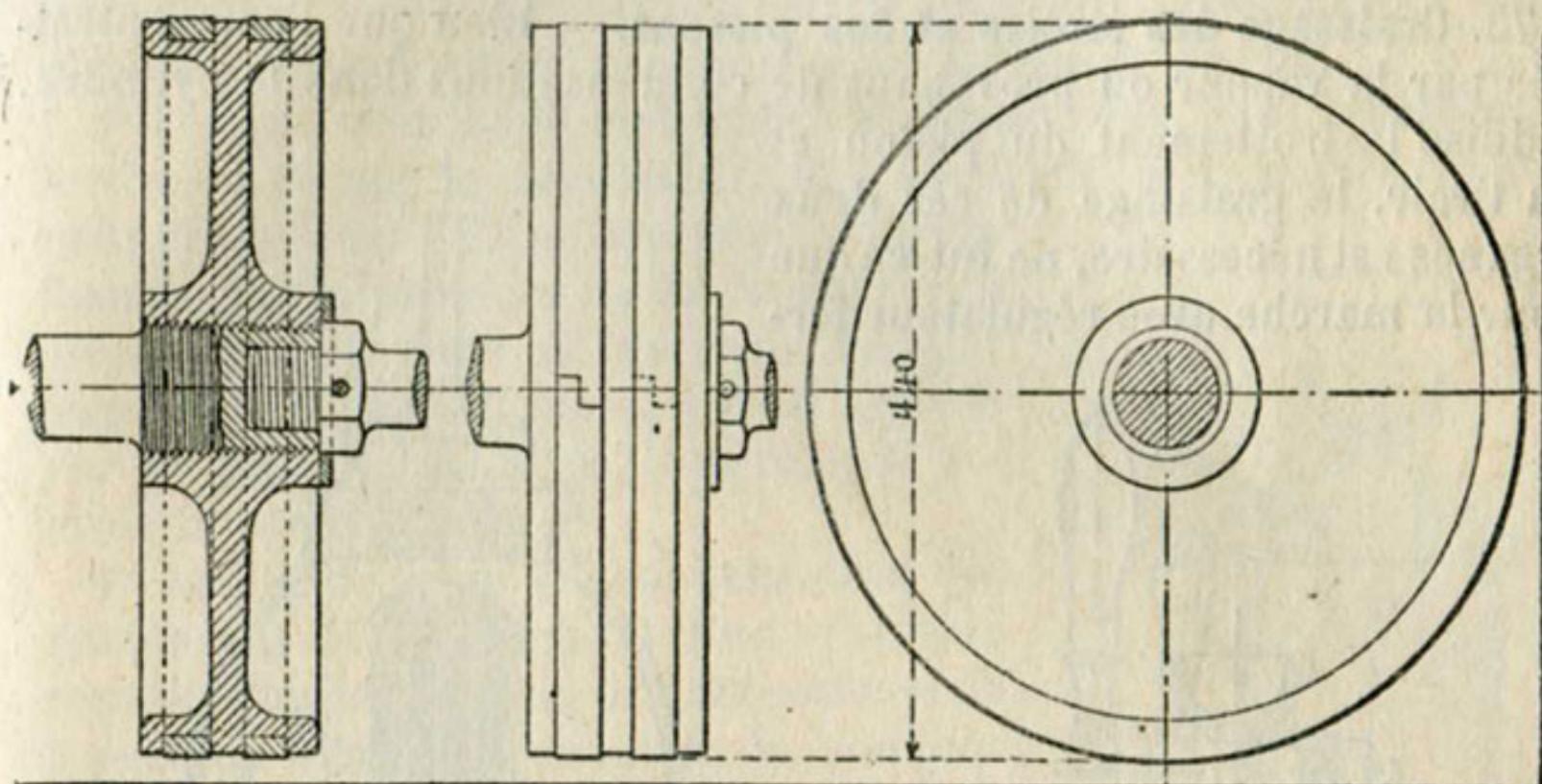


Fig. 108. — Piston de locomotive, à deux segments, montés dans des gorges séparées, avec contre-tige.

ploi de deux segments, à joints croisés, les fuites sont fort atténuées.

Les segments cassés, non seulement laissent fuir la vapeur d'un côté du piston à l'autre, mais peuvent rayer le cylindre ; les mor-

ceaux risquent de défoncer les plateaux en quittant leur logement.

Au piston évidé à simple toile (fig. 108), certains constructeurs préfèrent le piston creux à double toile, limité par deux parois planes ; les fonds de cylindre sont alors un peu plus simples, puisqu'ils ont également une face plane et n'épousent plus le profil refouillé du piston.

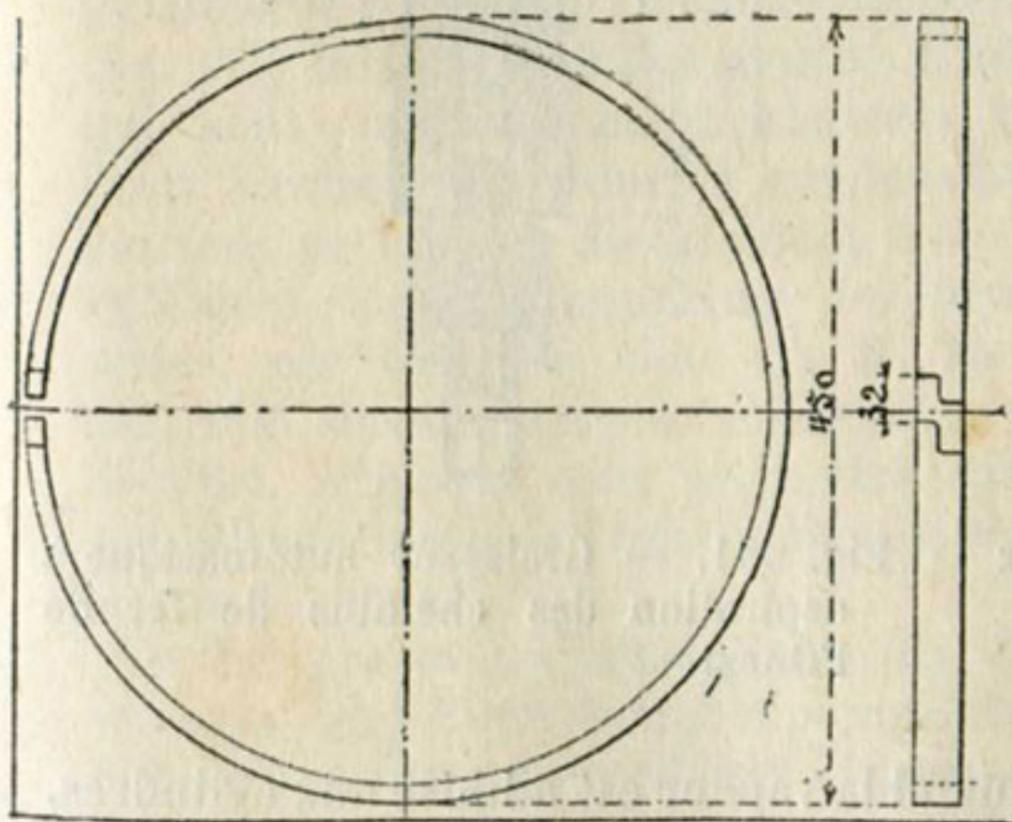


Fig. 109. — Segment ou bague de piston.

Le piston doit être solidement emmanché sur la tige : un piston de 500 mm de diamètre, soumis à une pression effective de 12 kg par cm^2 , transmet une force de 23 500 kg : les deux pistons, s'ils étaient placés comme des vérins, pourraient souvent soulever leur locomotive.

La tige est vissée dans le piston (fig. 108), ou la portée du piston

sur la tige est légèrement conique, avec un écrou sur la tige. On peut même se passer d'écrou, en montant le piston à chaud sur la tige froide.

73. Graissage des tiroirs et des pistons. — Bien que l'eau, entraînée par la vapeur ou provenant de condensations dans le cylindre, réduise le frottement du piston et du tiroir, le graissage de ces deux organes est nécessaire, ne fût-ce que pour la marche avec régulateur fer-

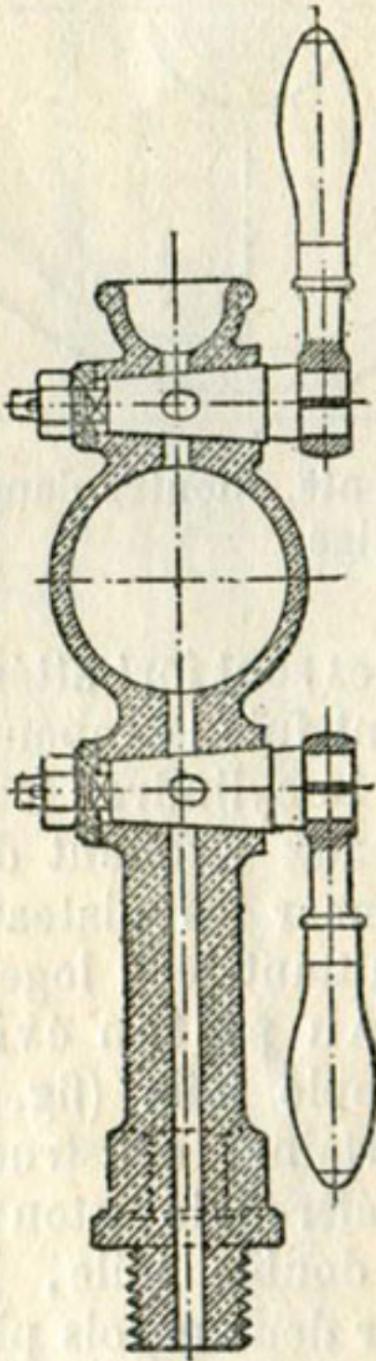


Fig. 110. — Graisseur à deux robinets.

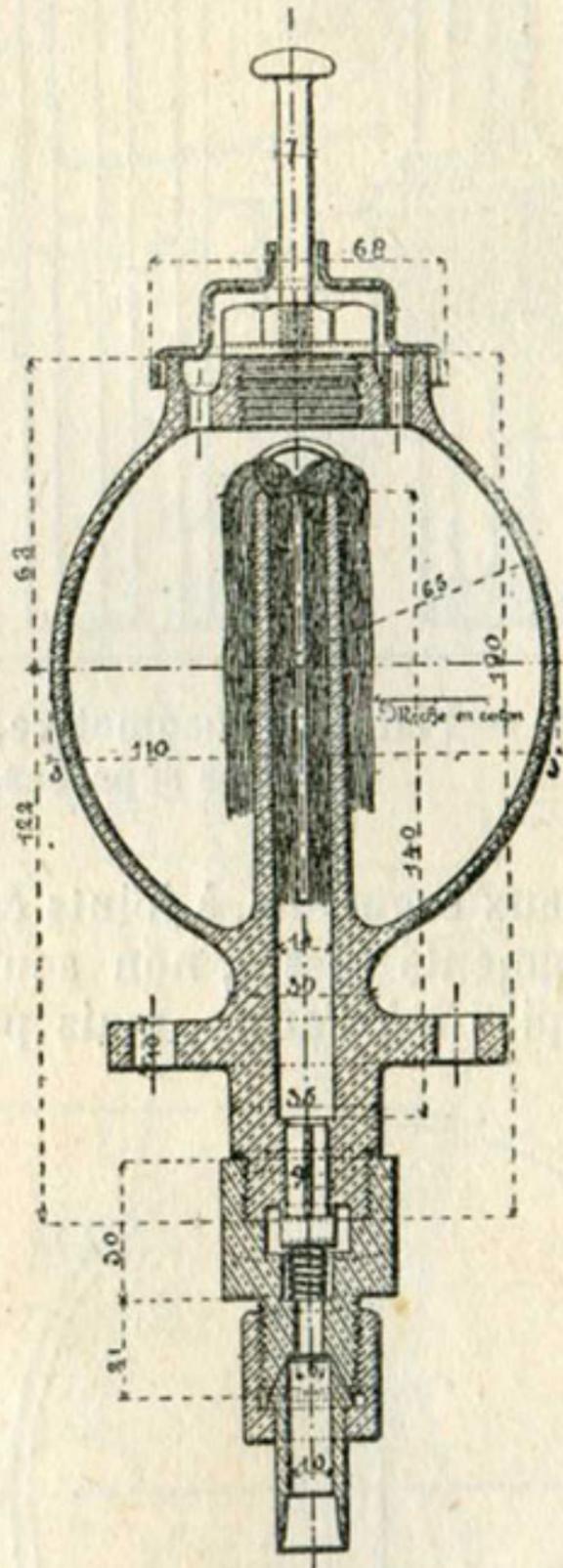


Fig. 111. — Graisseur automatique à aspiration des chemins de fer de l'Ouest.

mé; mais il est utile même quand la vapeur est admise aux cylindres.

Les appareils graisseurs, fort variés, se groupent en cinq catégories :

1° Les graisseurs à deux robinets (fig. 110), montés directement sur le cylindre ou sur la boîte à vapeur, permettent de graisser lors des arrêts; mais il y a quelque danger à s'en servir pendant la marche, à cause de leur position vers l'avant de la machine.

2° Les graisseurs, reportés à l'arrière de la machine, sont reliés

par des tuyaux aux cylindres ; l'huile est aspirée dans les cylindres lorsque le régulateur est fermé ; avec cet appareil, le graissage est encore intermittent ; il exige la fermeture du régulateur ; enfin les tuyaux se bouchent assez souvent, surtout en temps de gelée. La plate-forme reçoit des projections d'huile fort désagréables quand on oublie de refermer le robinet d'un de ces graisseurs.

3° Les graisseurs automatiques à aspiration (fig. 111) fonctionnent lorsqu'on ferme le régulateur. Ces appareils sont montés sur les cylindres, dont les sépare une soupape fermée par la pression de la vapeur ; une mèche, puisant dans un réservoir, remplit une petite capacité d'huile, qui est aspirée par le piston quand on interrompt l'arrivée de vapeur.

4° Les graisseurs à condensation se composent essentiellement d'un réservoir rempli d'huile, au fond duquel coule petit à petit de l'eau provenant de la condensation de la vapeur : l'huile, qui surnage, est progressivement déplacée par l'eau et pénètre sur les pièces à graisser. Le graisseur Consolin (fig. 112) amène l'huile dans le tuyau de prise de vapeur, qui l'entraîne aux tiroirs et aux pistons : il ne fonctionne donc que lorsque le régulateur est ouvert. D'autres appareils (fig. 113) laissent voir les gouttes d'huile qui sont successivement chassées par l'eau. Certains graisseurs à condensation peuvent se monter directement sur les cylindres, ce qui supprime les tuyauteries, par exemple ceux de M. Meyer (fig. 114), dessinateur aux chemins de fer de l'Est, disposés pour permettre également l'aspiration de l'huile quand le régulateur est fermé.

5° Les graisseurs mécaniques (fig. 115) se composent d'une véritable pompe, dont le piston plongeur reçoit un mouvement de descente fort lent et chasse l'huile dans les cylindres en quantité exactement réglée. Un appareil analogue (fig. 116) peut être commandé à la main.

Pour répartir également l'huile entre les deux tiroirs et les deux pistons d'une locomotive ordinaire ou entre les quatre cylindres de certaines compound, on fait usage de graisseurs mécaniques à pistons multiples, tels que celui de Bourdon (fig. 117). Chaque

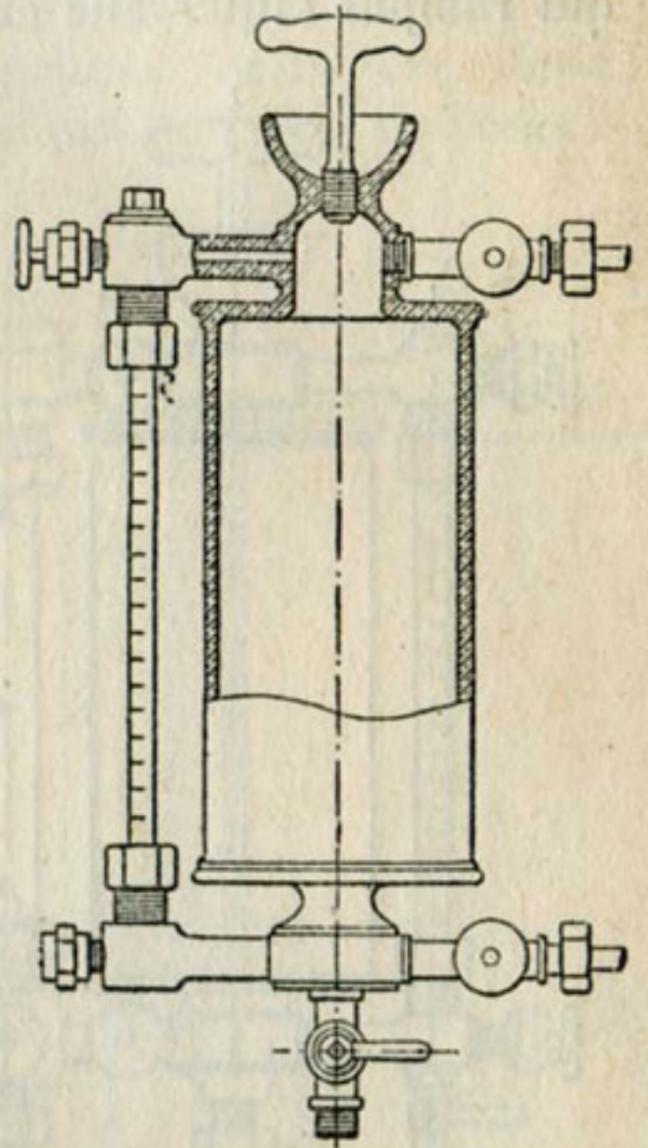


Fig. 112. — Graisseur Consolin. L'eau, provenant de la vapeur condensée, pénètre par la tubulure latérale inférieure ; l'huile déplacée sort par la tubulure supérieure ; le tube en verre indique le niveau de l'eau ; le robinet inférieur sert à la vidange.

piston de cet appareil se compose d'un plongeur et d'un tube, qui coulisse entre deux tubes fixes. Une soupape de refoulement laisse passer l'huile envoyée à l'organe à graisser, pendant la descente du piston, mais cette pompe ne porte pas de soupape d'aspiration : il y a seulement des trous percés en N dans les tubes fixes. Quand le piston est soulevé, il fait d'abord le vide, jusqu'à ce que le tube mobile démasque les trous N : alors l'huile pénètre sous le piston. Pendant la descente, le tube mobile doit chasser l'huile qui remplit l'intervalle entre les deux tubes fixes : comme il laisse

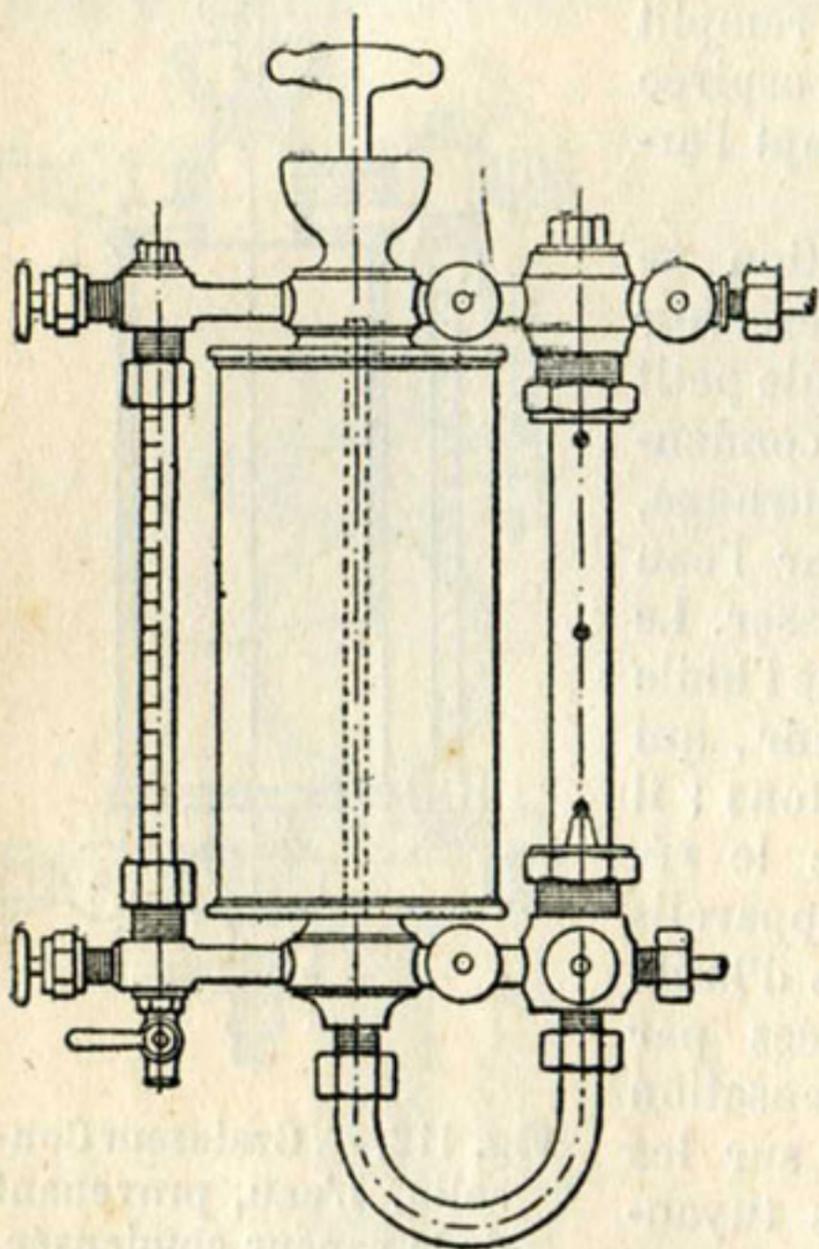


Fig. 113. — Graisseur à condensation à gouttes visibles. L'huile déplacée descend par le tube central, puis remonte dans ce gros tube en verre plein d'eau.

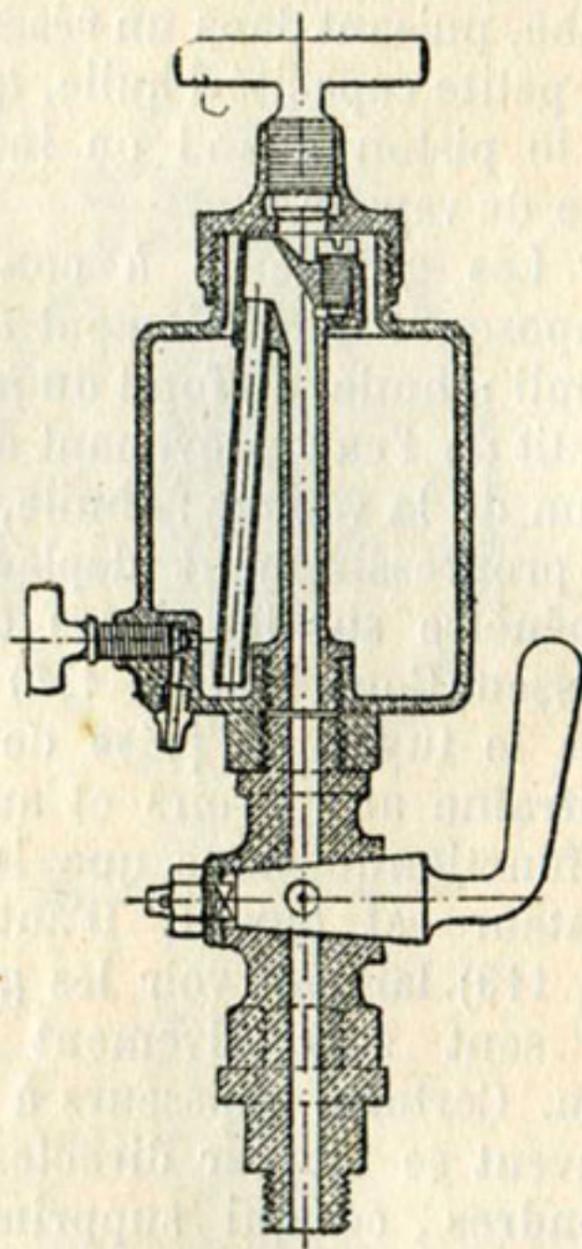


Fig. 114. — Graisseur Meyer.

très peu de jeu, l'huile pour s'échapper exige une forte pression, de sorte que l'huile refoulée par le plongeur cen-

tral ne peut retourner dans le réservoir et soulève la soupape de refoulement P.

Le mouvement de va et vient des quatre pistons est produit par un excentrique, commandé par un encliquetage, que met en action un point d'une coulisse de Stephenson. Quand le régulateur est fermé, le mécanisme de relevage est placé à fond de course et l'encliquetage fait avancer le rochet de deux dents, tandis qu'il n'avance que d'une dent avec les oscillations ordinaires en marche de la coulisse ; le graissage est ainsi plus abondant quand le régulateur est fermé.

Cette variation ne se produit pas avec d'autres modes de commande.

On peut changer le débit en modifiant la position des pistons, vissés dans la platine qui les entraîne : on modifie ainsi la course utile, qui correspond au trajet fait en dessous des trous N.

74. Garnitures de tiges. — Les garnitures guident les tiges, qui portent sur la bague de fond et la bague du presse-garniture, en bronze. Les fuites de vapeur sont arrêtées par la matière élastique, comprimée entre les deux bagues. On se servait autrefois de tresses

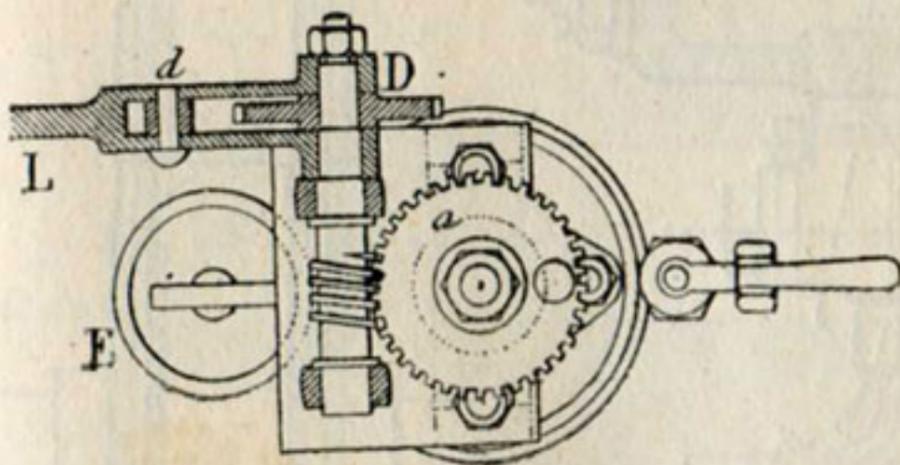
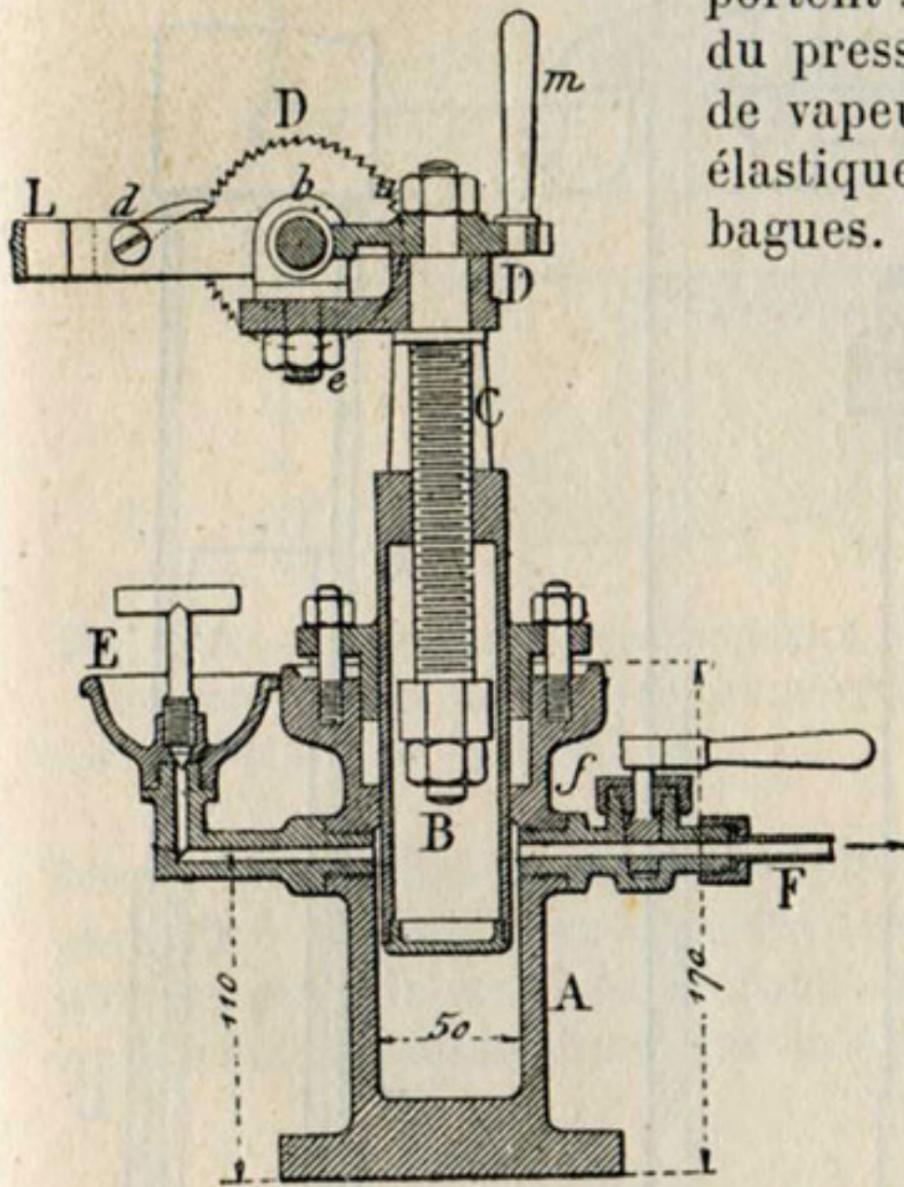


Fig. 115. — Graisseur mécanique Mollerup.

Fig. 116. — Graisseur à piston des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

en chanvre ou en étoupe, que la vapeur à pression élevée et, par suite, très chaude, en usage aujourd'hui, carbonise rapidement. On a d'abord remplacé le chanvre par des tresses formées de copeaux en métal blanc tendre (fig. 118); mais on préfère en général les garnitures composées de bagues en métal blanc. La garniture Duterne consiste en une bague cylindrique terminée à chaque extrémité par

un cône (fig. 119). Lorsque la tige présente un renflement, la bague est faite en deux pièces, juxtaposées suivant deux plans parallèles, comme le montre la coupe transversale. La garniture est maintenue entre la bague de fond B et le presse-garniture D, qui porte sur un

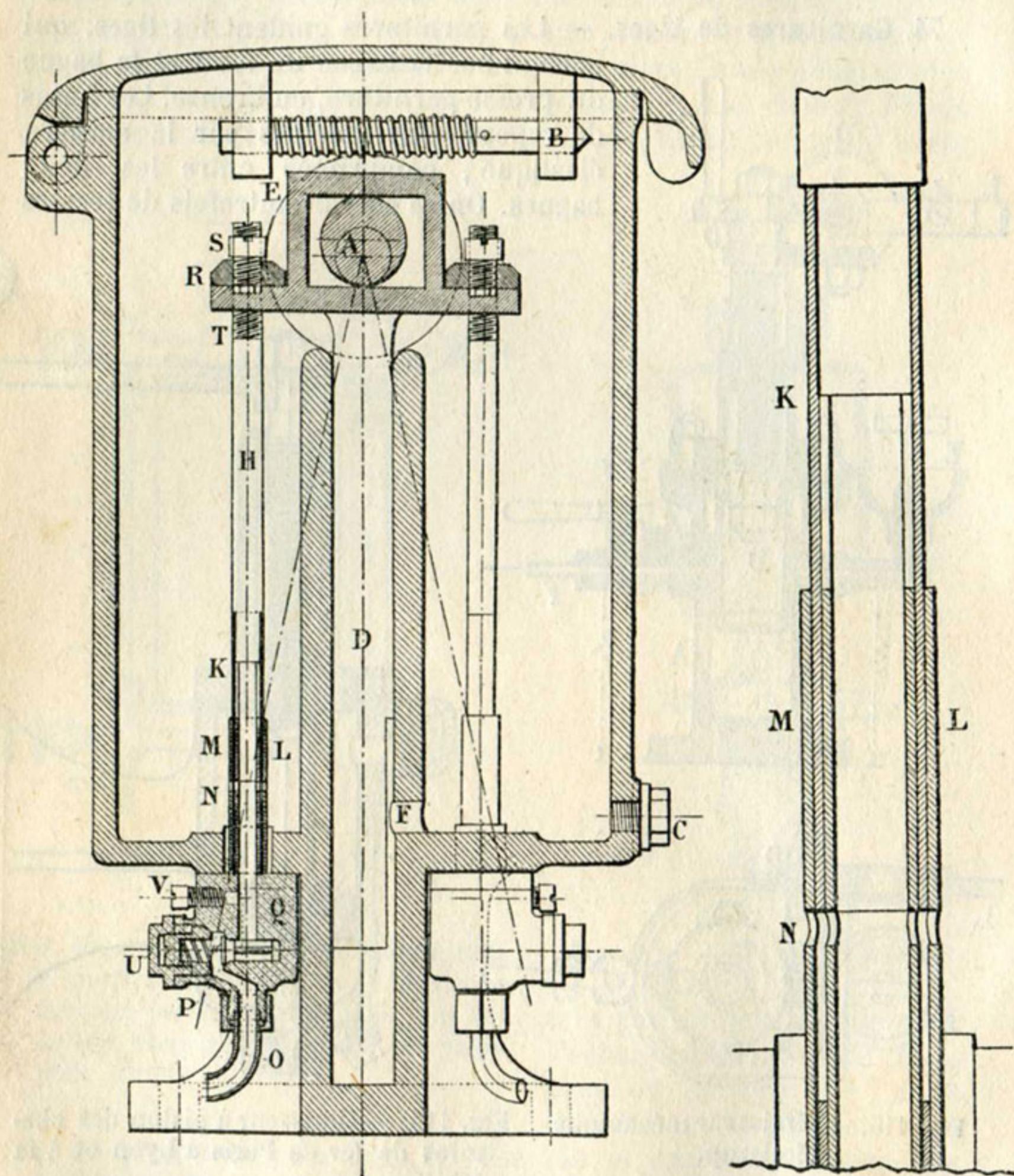


Fig. 117. — Graisseur multiple du système Bourdon (dit télescopompe), à 4 pistons ; coupe verticale ; détail d'un piston.

Course des pistons, 12 mm ; débit, jusqu'à 0,36 g par piston et par tour de l'arbre A, soit, d'après les dimensions du rochet, jusqu'à 11 g par km pour une locomotive à roues de 2,09 m.

fourreau en deux pièces F, lorsque la tige est renflée. Le logement de la garniture est alésé avec un léger cône vers l'extérieur, pour

faciliter l'extraction (un millimètre en plus sur le diamètre du côté de l'entrée).

La garniture Kubler se compose de bagues coniques en métal

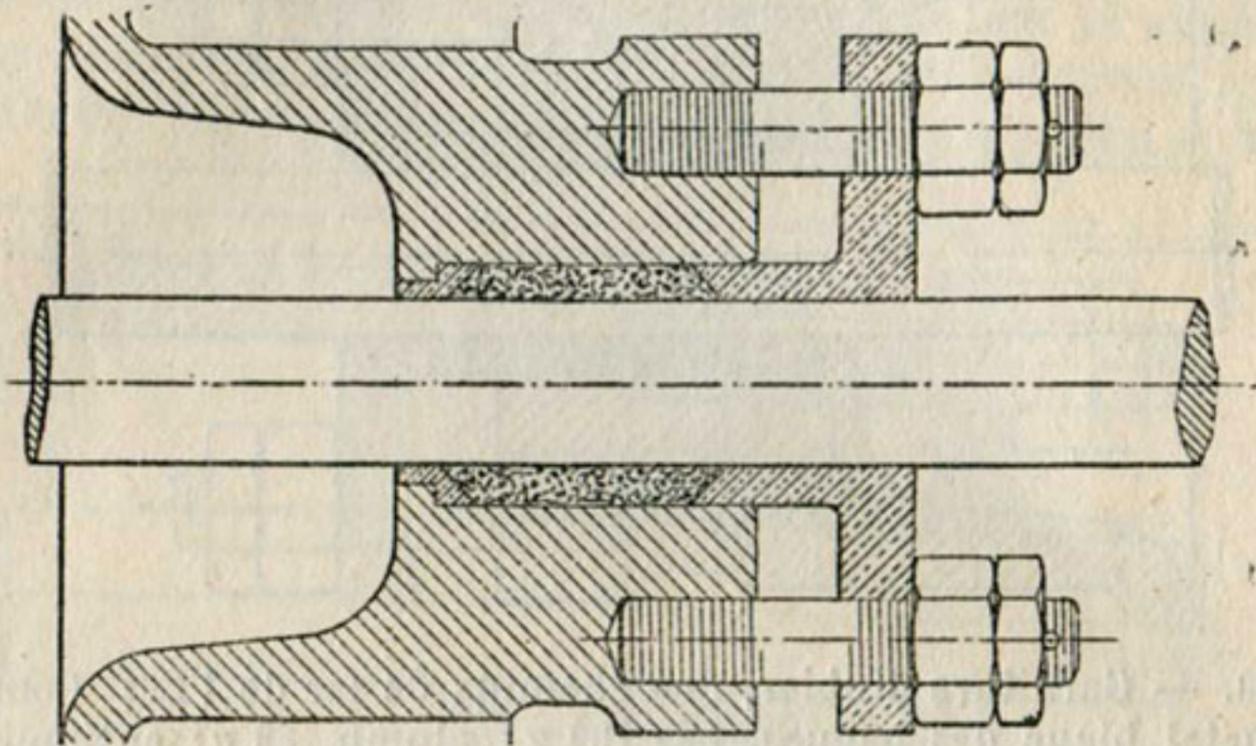


Fig. 118. — Garniture avec copeaux de métal blanc formant des tresses qui remplacent le chanvre, employée sur d'anciennes locomotives des chemins de fer de l'Est.

blanc, bien graissées, empilées entre la bague de fond et le presse-garniture (fig. 120), en croisant les joints. Avec ces garnitures, on doit serrer à la main les écrous du presse-garniture, de telle sorte qu'à froid il puisse jouer sur la tige. Le contre-écrou, serré forte-

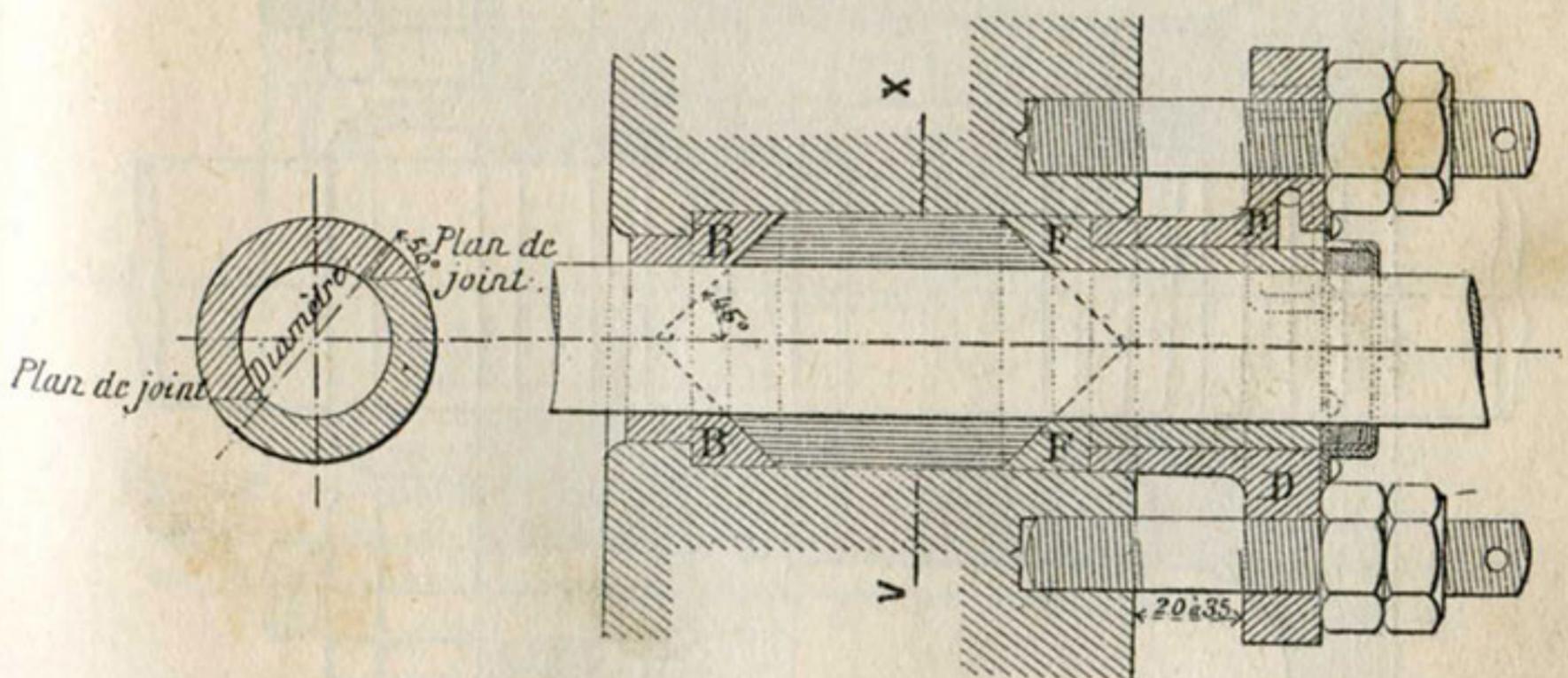


Fig. 119. — Garniture Duterne, des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Composition du métal blanc de la bague par 100 g : plomb, 76 g ; antimoine, 10 g ; étain, 14 g.

ment contre l'écrou, empêche le desserrage ; on le visse avec une clef, en maintenant l'écrou par une seconde clef ; il est bon de faire cette opération très fréquemment.

Une légère fuite de vapeur, lors de la mise en service d'une garni-

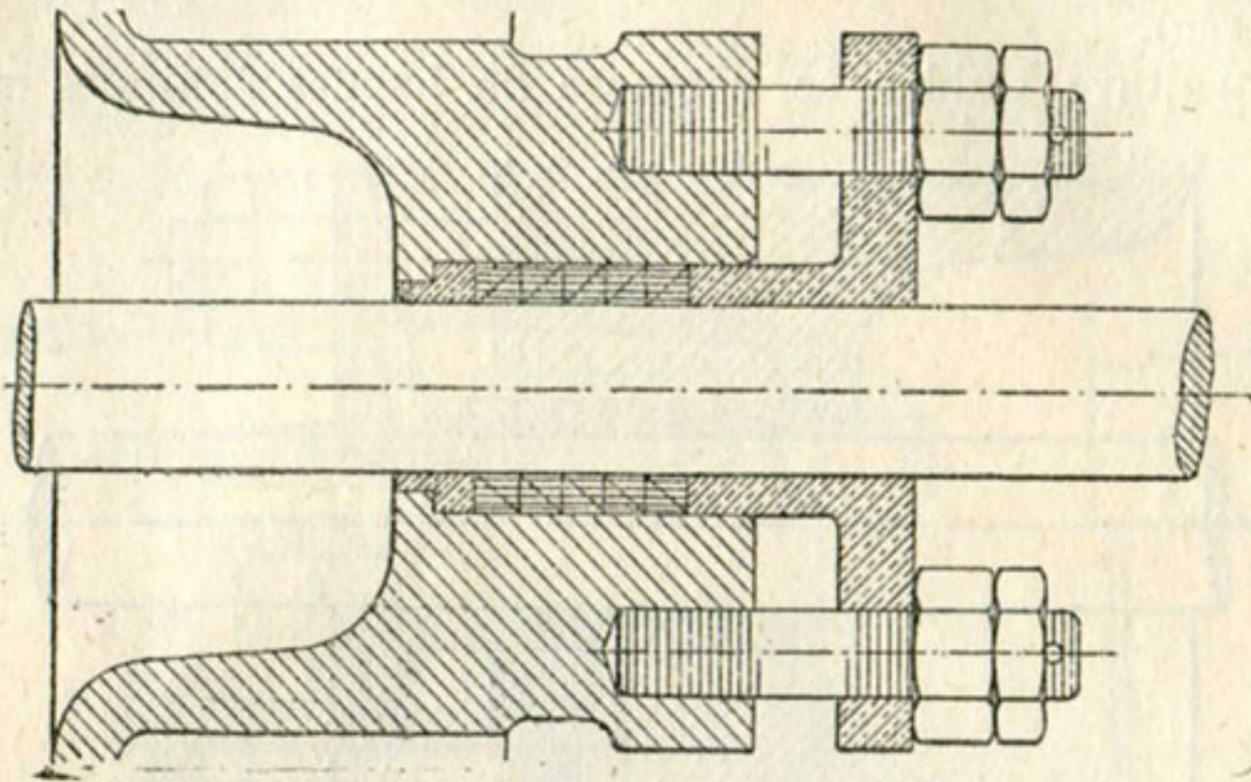


Fig. 120. — Garniture Kubler, des chemins de fer de l'Est. Composition du métal blanc des bagues, par 100 g ; plomb, 80 g ; antimoine, 8 g ; étain, 12 g.

ture neuve, n'a pas d'inconvénients sérieux et disparaît au bout de quelques jours.

On supprime ce réglage assez délicat en produisant

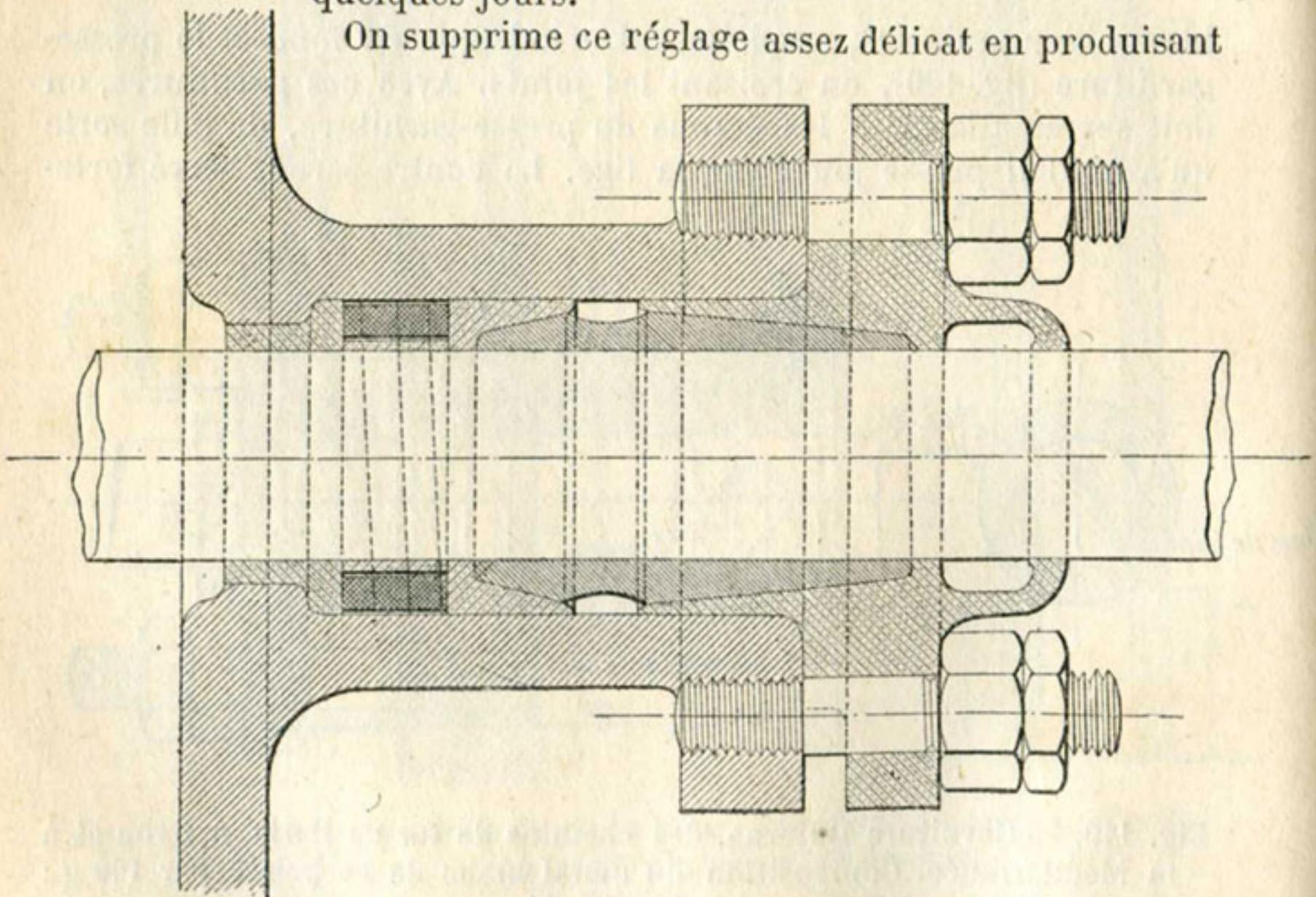


Fig. 121. — Garniture à bague métallique des chemins de fer de l'Ouest, serrée par un ressort qui s'appuie sur la bague de fond.

le serrage à l'aide d'un ressort en acier, dont la tension est détermi-

née d'avance ; il n'y a plus alors qu'à serrer à *bloc* le presse-garniture (fig. 121).

Les presse-garnitures sont munis d'un godet graisseur et portent en outre un petit réservoir d'huile entourant la tige et renfermant une tresse en coton. Il est important que le graissage soit toujours fait avec soin : sinon les garnitures risquent de gripper ou de fondre.

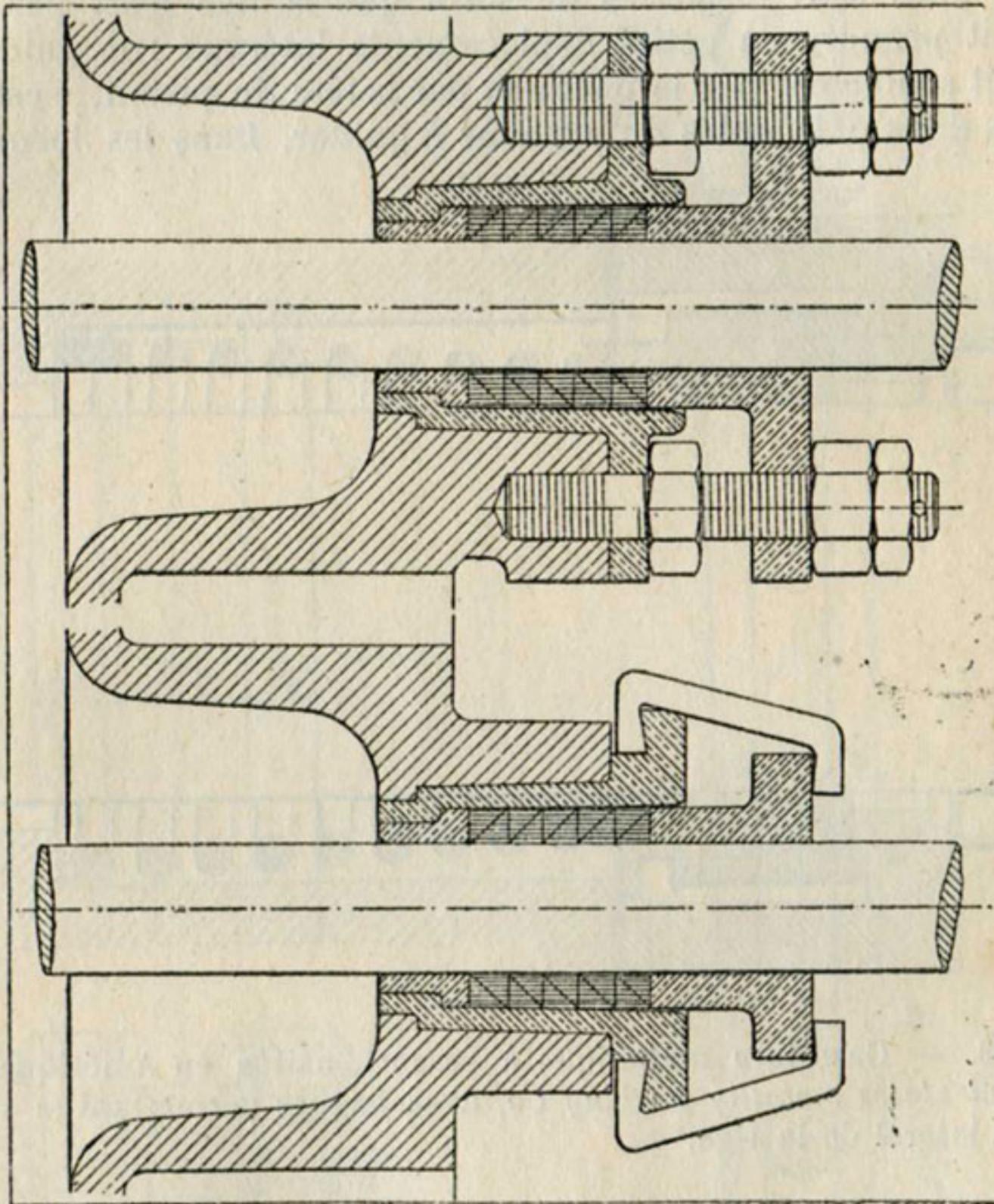


Fig. 122. — Garniture métallique contenue dans un fourreau en bronze, qu'on enlève en le rattachant au presse-garniture par deux petits étriers et en poussant le presse-garniture par les écrous placés en dessous.

Le démontage d'une garniture est parfois malaisé ; il est rendu plus facile par l'emploi d'un fourreau en bronze (fig. 122), qui la contient tout entière. Ce fourreau est légèrement conique au dehors, ainsi que son logement dans le cylindre : pour le faire sortir, on le rattache par deux petits étriers en fer au presse-garniture, qu'on pousse vers l'extérieur, en faisant tourner deux écrous placés d'avance, ou au moment du démontage, sur les goujons entre les

deux pièces. La difficulté de démontage n'existe pas avec la disposition de la figure 121.

Le frottement des tiges contre les garnitures métalliques est souvent assez dur. En Amérique, on emploie avec succès, et d'une manière générale, des garnitures moins résistantes, dont la figure 123 donne un exemple. Les bagues sont pressées par un ressort; en outre, elles sont disposées de sorte que la tige n'est pas guidée et peut prendre de petits déplacements latéraux : le guidage est produit seulement par le piston et par la tête du piston, c'est-à-dire par les deux extrémités du système à guider. Dans les locomotives

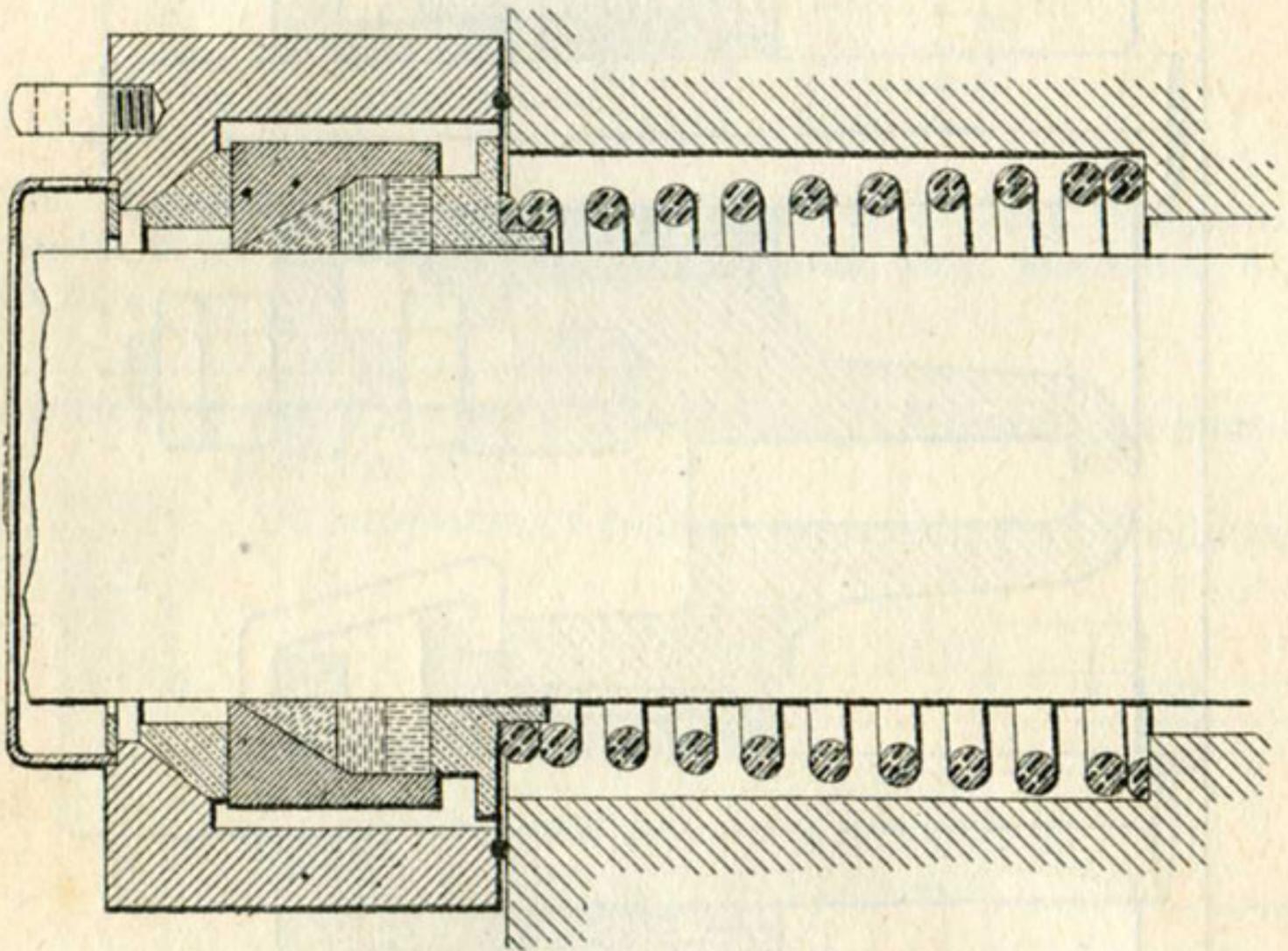


Fig. 123. — Garniture métallique à ressort, usitée en Amérique, de la *United states metallic packing Co*, avec bagues permettant le déplacement latéral de la tige.

européennes, la garniture sert en outre de guide, surtout quand le piston est muni d'une contre-tige et disposé de manière à ne pas reposer sur le cylindre par l'intermédiaire des bagues.

75. Tête ou crosse de piston et glissières. — La *tête* ou *crosse de piston* est une pièce en fer ou en acier coulé, de forme souvent assez compliquée, sur laquelle s'emmanche la tige du piston, et s'articule la bielle motrice. La tige de piston est conique et se fixe dans un cône correspondant de la tête : une clavette goupillée l'empêche de sortir. Un trou percé au fond du logement de la tige permet de la chasser, lors du démontage.

La tête de piston est guidée en ligne droite par les glissières, à

l'aide de coulisseaux en fonte, qui peuvent être garnis de régule ; elle porte un tourillon, sur lequel s'articule la bielle motrice.

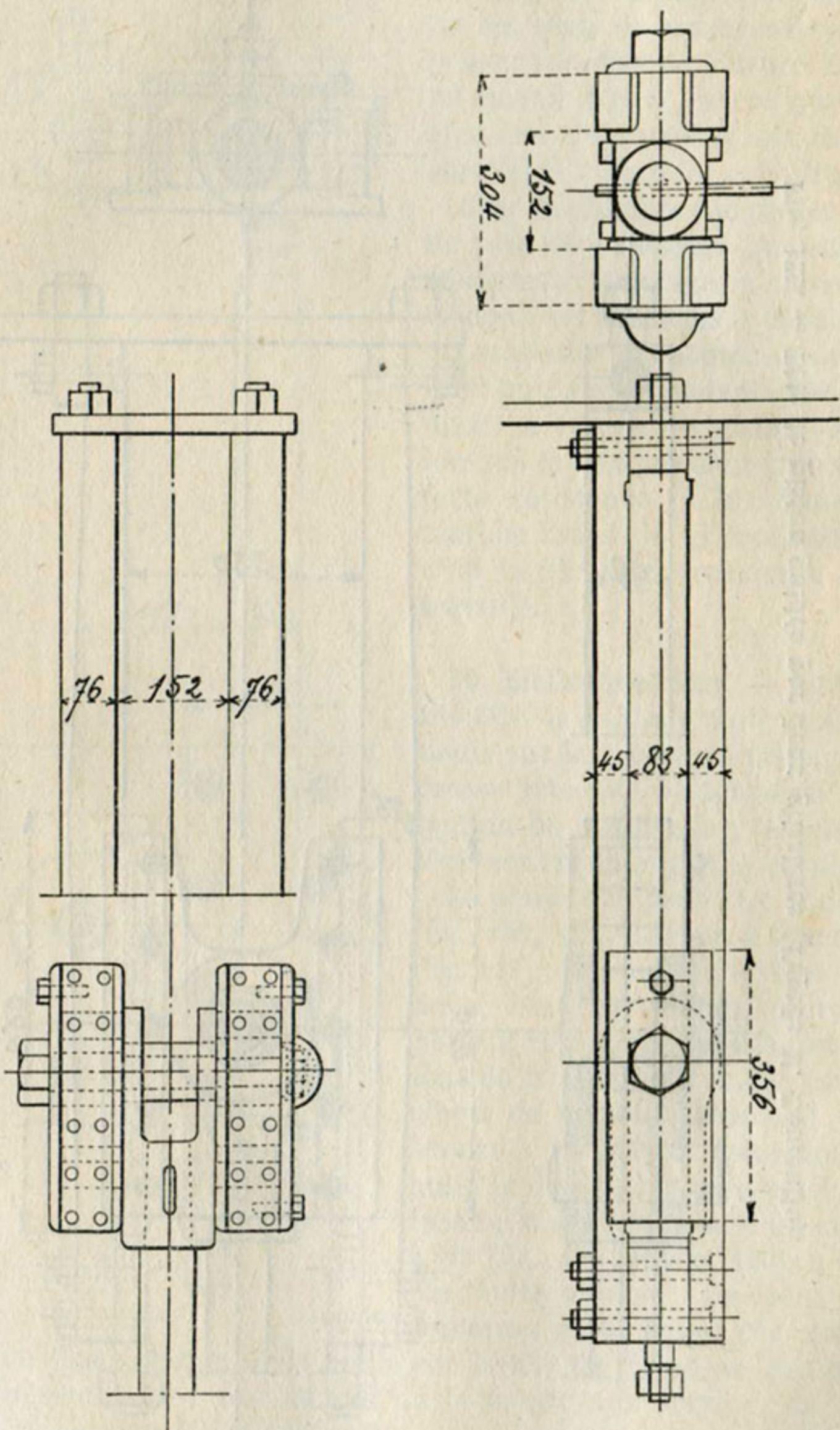


Fig. 124. — Tête de piston guidée par quatre glissières (d'après M. Demoulin).

On emploie, pour guider le tête du piston, ou quatre, ou deux glissières, ou même une seule. Quatre glissières (fig. 124) occupent peu de hauteur, ce qui est commode quand la tête passe au-dessus

d'un essieu. Très fréquemment on emploie deux glissières (fig. 125), assez écartées pour permettre l'oscillation de la bielle. Enfin la

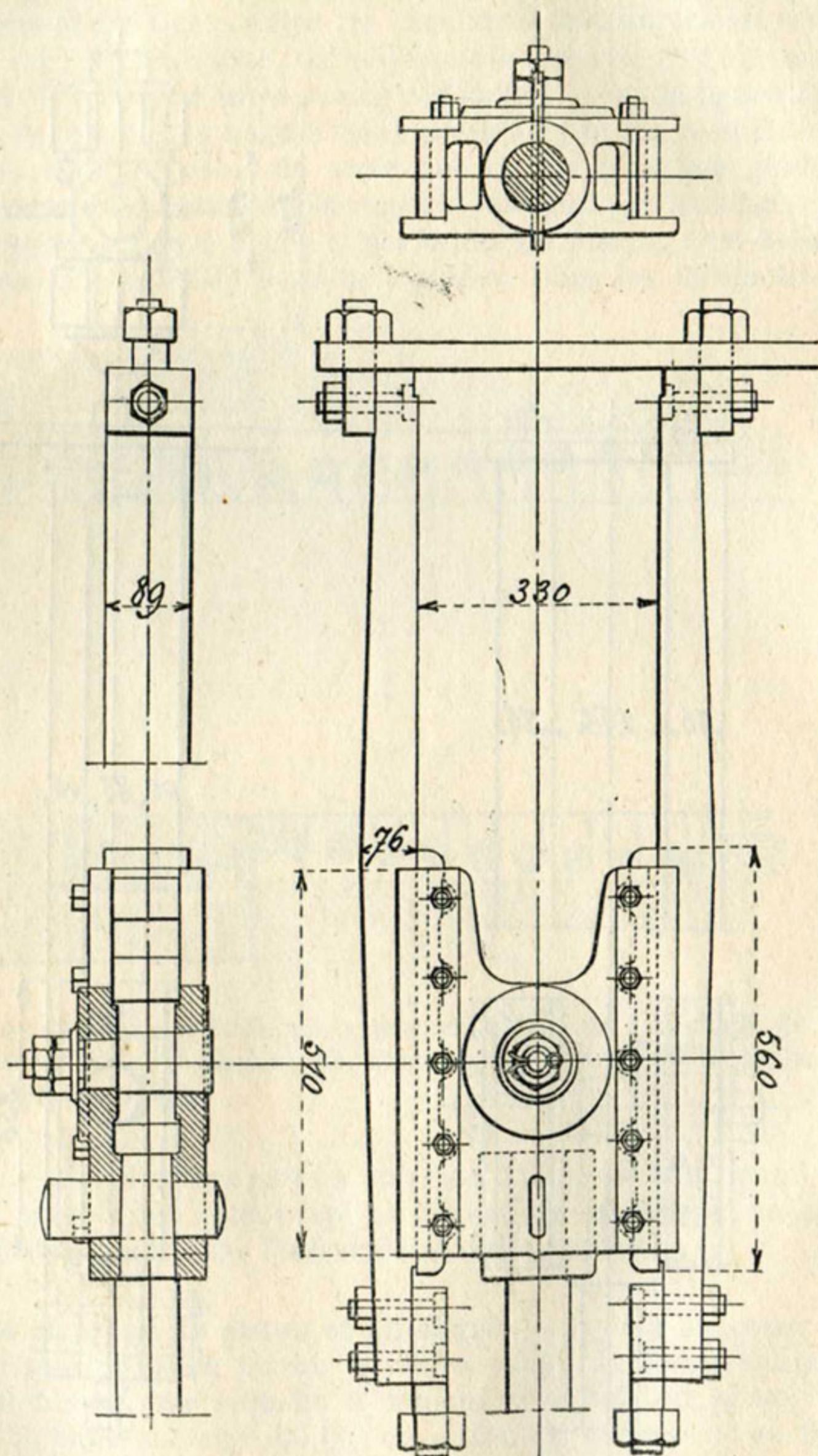


Fig. 125. — Tête de piston guidée par deux glissières (d'après M. Demoulin).

glissière unique (fig. 126) est enfermée entre la tête du piston et un chapeau boulonné.

Les glissières sont des barres d'acier fixées par une extrémité au

fond arrière du cylindre et par l'autre sur un support spécial : des cales minces sont interposées entre la glissière et ses supports; en enlevant ou en limant ces cales, on les règle de manière à compenser les effets de l'usure. C'est un travail délicat, parce que les glissières doivent toujours rester parallèles à l'axe du cylindre.

Avec la glissière unique, le jeu ne peut être rattrapé que sur le coulisseau; une cale en cuivre se trouve à cet effet sous le chapeau.

Les glissières sont pressées dans le même sens pendant presque toute la course du piston, sauf lorsque la compression crée une forte résistance (§ 70). Dans la marche avant de la locomotive, c'est la glissière supérieure qui travaille.

Les glissières sont pressées dans le même sens pendant presque toute la course du piston, sauf lorsque la compression crée une forte résistance (§ 70). Dans la marche avant de la locomotive, c'est la glissière supérieure qui travaille.

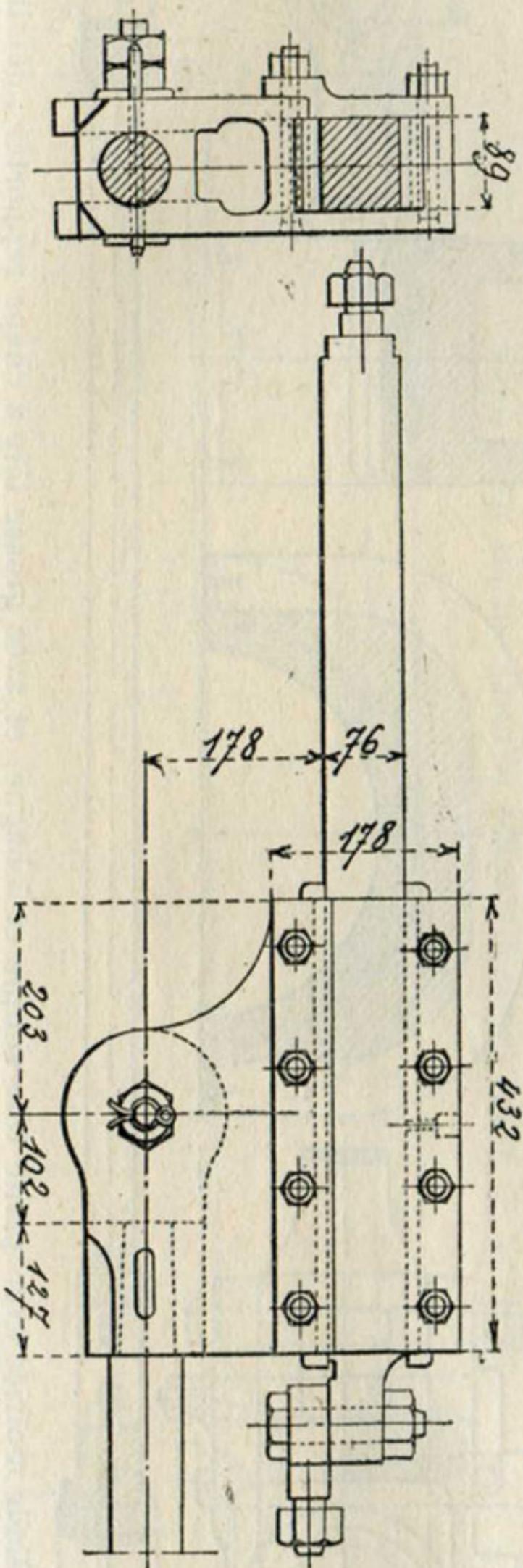
76. Bielles motrices. — La petite tête de la bielle motrice s'articule sur la crosse de piston, la grosse tête sur le tourillon ou bouton de manivelle; les deux têtes sont réunies par le corps.

La petite tête peut être simple (fig. 128, 129, 130) ou à fourche (fig. 127) : il est essentiel que les deux branches de la fourche portent également sur les tourillons de la tête de piston. Les coussinets de la petite tête sont en bronze : ils s'usent lentement; aussi la disposition de réglage, à l'aide d'une clavette ou d'un coin à vis (fig. 127, 129 et 130), n'est pas indispensable; on peut se contenter d'une bague (fig. 128).

Le jeu de l'articulation de la bielle sur la tête de piston ne doit pas être supérieur à 0,4 mm quand on la monte; en service, on ne laissera pas ce jeu dépasser 1 mm.

La difficulté du montage sur la tête de piston a conduit à l'emploi d'une cage ouverte avec étrier et clavette pour certaines machines.

Fig. 126. — Glissière unique placée au-dessus de la tête de piston (d'après M. Demoulin).



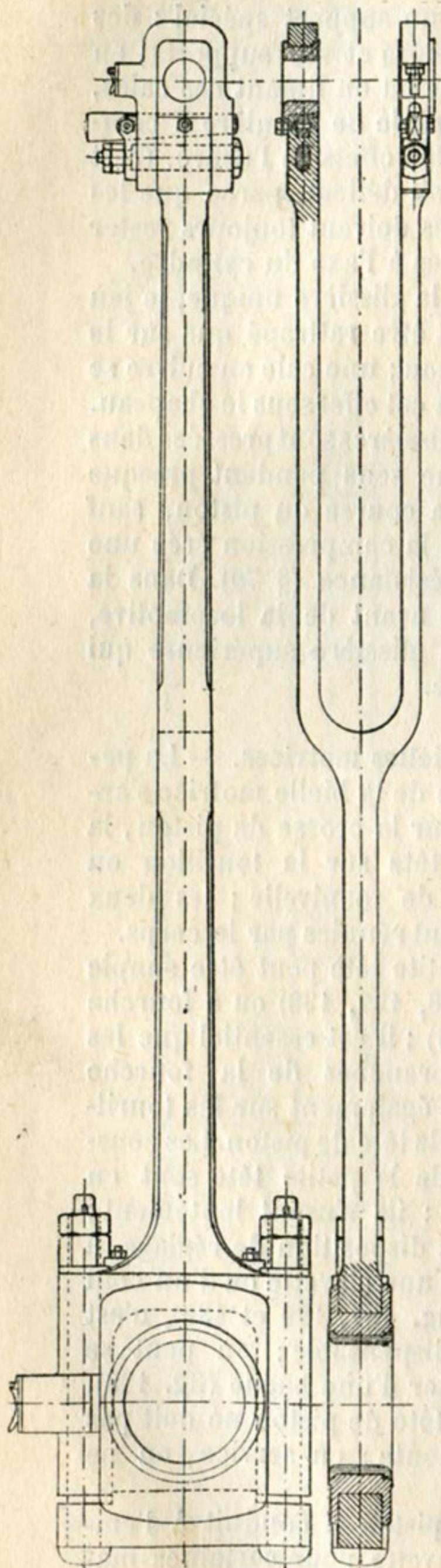


Fig. 127. — Bielle motrice avec petite tête à fourche et à chapes rapportées, et avec grosse tête à cage ouverte et à chapeau.

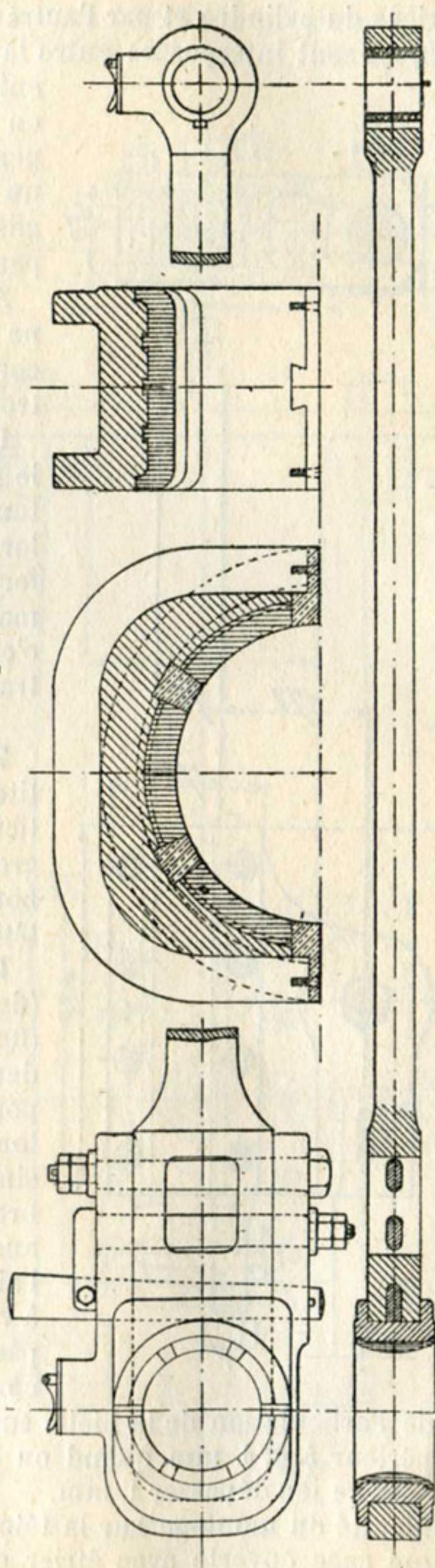


Fig. 128. — Bielle motrice avec petite tête simple et à bague, et avec grosse tête à chape rapportée; détail du coussinet, en acier revêtu de barrettes en bronze, pour maintenir la bielle en cas de fusion du régule.

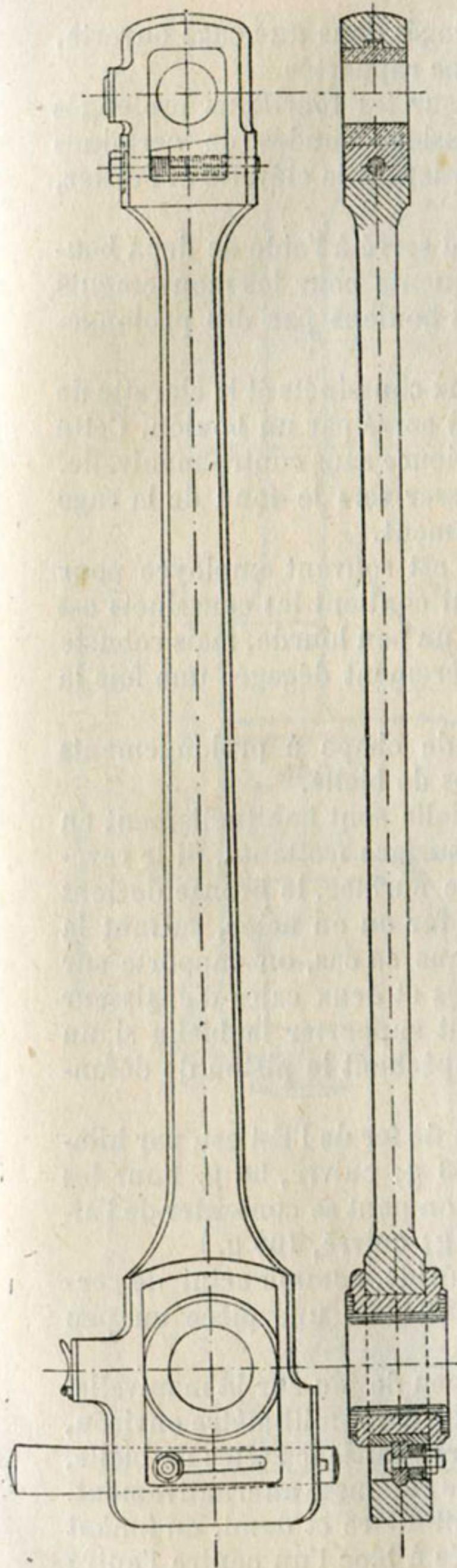


Fig. 129. — Bielle motrice à cages fermées sur les deux têtes.

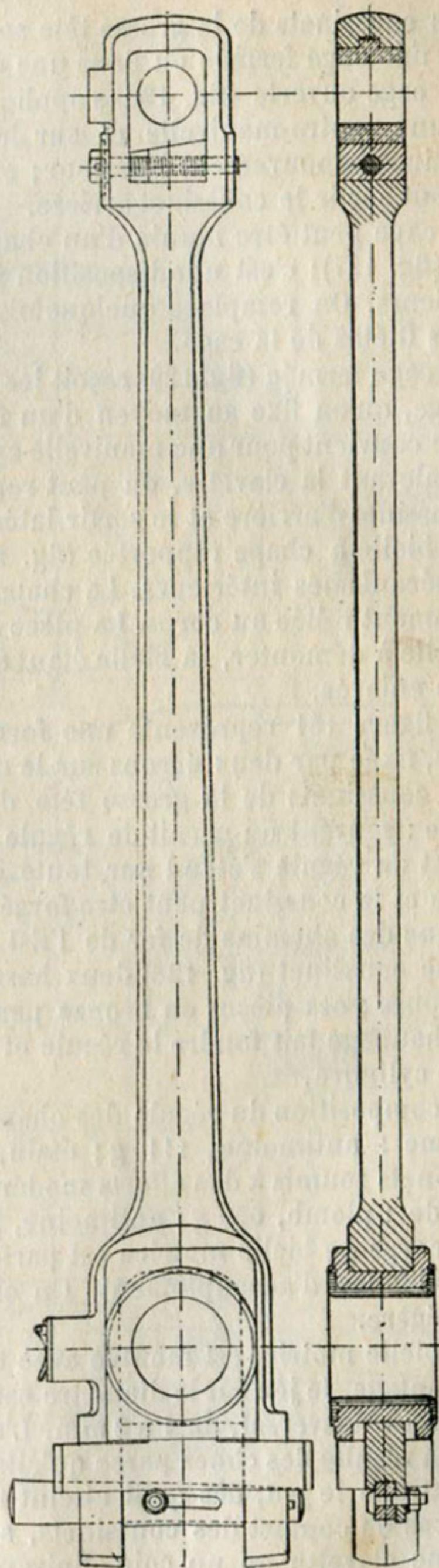


Fig. 130. — Bielle motrice à cage ouverte sur la grosse tête.

Les coussinets de la grosse tête sont logés dans une cage ouverte, dans une cage fermée ou dans une chape rapportée.

La cage ouverte (fig. 130) s'applique sur les tourillons prolongés par une contre-manivelle et sur les essieux coudés de certaines machines à mouvement intérieur; en enlevant la clavette et l'étrier, on peut sortir le coussinet arrière.

La cage peut être munie d'un chapeau serré à l'aide de deux boulons (fig. 127); c'est une disposition fréquente pour les mouvements intérieurs. On remplace quelquefois les boulons par des prolongements filetés de la cage.

La cage fermée (fig. 129) reçoit les deux coussinets et la clavette de réglage, qu'on fixe au moyen d'un frein serré par un boulon. Cette forme convient pour une manivelle extérieure sans contre-manivelle. En enlevant la clavette, on peut repousser vers le fond de la cage le coussinet d'arrière et le sortir latéralement.

La bielle à chape rapportée (fig. 128) est souvent employée pour les mécanismes intérieurs. La chape qui contient les coussinets est solidement reliée au corps. La pièce est un peu lourde, mais robuste et facile à démonter, la bielle étant entièrement dégagée une fois la chape enlevée.

La figure 131 représente une forme de chape à prolongements filetés, fixée par deux écrous sur le corps de bielle.

Les coussinets de la grosse tête de bielle sont habituellement en bronze : souvent on garnit de régule la surface frottante. Si le revêtement de régule s'étend sur toute cette surface, le bronze devient inutile et le coussinet peut être forgé en fer ou en acier, suivant la pratique des chemins de fer de l'Est. Dans ce cas, on rapporte sur chaque coussinet (fig. 128) deux barrettes et deux cales d'épaisseur en bronze ; ces pièces en bronze peuvent supporter la bielle si un fort chauffage fait fondre le régule et empêchent le piston de défoncer le cylindre.

La composition du régule des chemins de fer de l'Est est, par kilogramme : antimoine, 411 g ; étain, 833 g ; cuivre, 56 g. Pour les coussinets soumis à des efforts modérés, on peut se contenter de l'alliage de : plomb, 650 g ; antimoine, 250 g ; cuivre, 100 g.

Le corps de bielle motrice est parfois évidé, comme celui de certaines bielles d'accouplement. On obtient ainsi une pièce un peu plus légère.

La bielle motrice est montée avec un peu de jeu sur la manivelle. Au montage, le jeu sur le diamètre est d'un demi-millimètre environ, et le jeu transversal, de 1 à 2 mm. L'usure ovalise les têtes de bielle, et il en résulte des chocs parce qu'elle tire et pousse alternativement. On rattrape le jeu, dès qu'il atteint 1 millimètre et demi, en limant les faces de contact des coussinets, serrés à bloc l'un contre l'autre par une clavette ou un coin. Suivant la position des clavettes, ce réglage allonge ou raccourcit la bielle, c'est-à-dire la distance entre

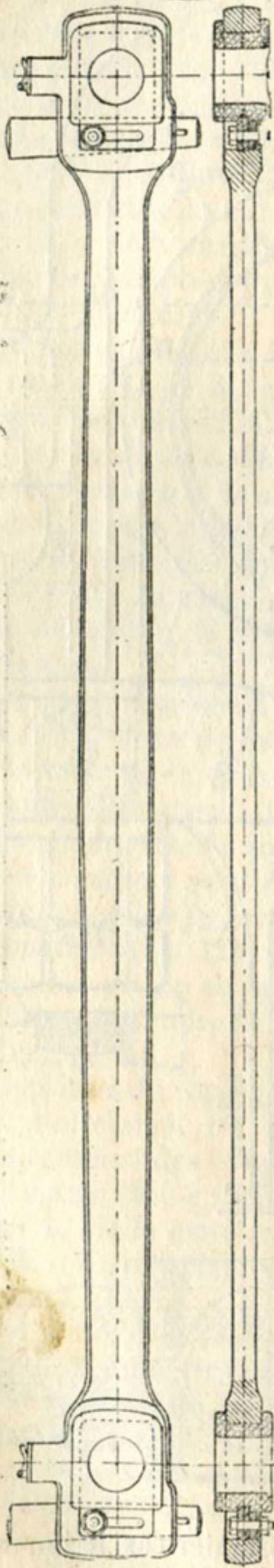


Fig. 132. — Bielle d'accouplement à clavettes de réglage.

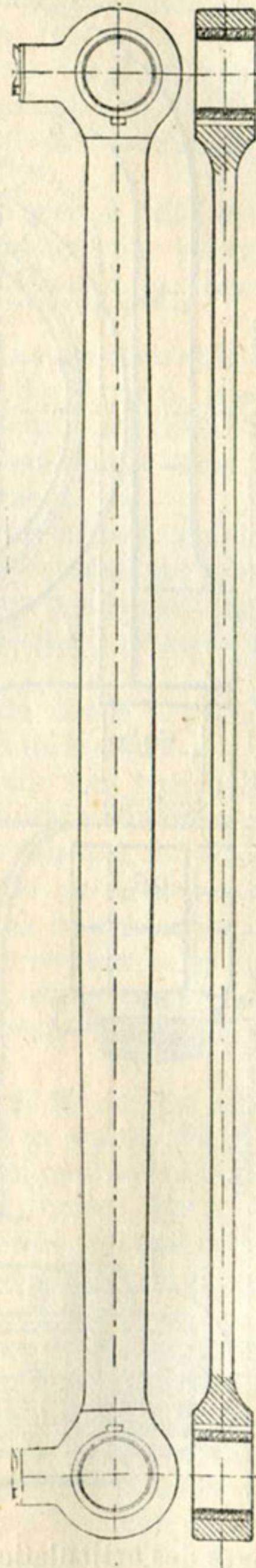


Fig. 133. — Bielle d'accouplement à bagues, sans réglage.

au montage primitif de laisser un peu plus d'espace libre de ce côté. Si le réglage raccourcit la bielle, il rapproche le piston du fond d'arrière. Quand les deux têtes portent des organes de réglage, ils sont le plus souvent disposés de manière à compenser, au moins en partie, cette variation de la longueur de la bielle.

77. Bielles d'accouplement. — Les bielles d'accouplement peuvent être munies de clavettes de réglage (fig. 132), qui permettent de compenser l'usure des coussinets. Ce réglage exige beaucoup de soin : la longueur des bielles, comptée d'axe en axe des œils, doit être la même des deux côtés de la machine; les coins des glissières des boîtes sont réglés en même temps, de manière à donner le même écartement aux essieux accouplés. La moindre différence de longueur d'une bielle à l'autre fatigue la machine, augmente les frottements et l'usure, et risque de provoquer la rupture de ces organes.

Les bielles à bagues (fig. 133 et 134), de plus en plus employées, ont une simple bague en bronze ou parfois en régule, qui porte sur le tourillon, sans aucun moyen de réglage; on est bien sûr qu'on ne peut en changer la longueur en service. La bague présente sans inconvénient un jeu d'un millimètre sur le diamètre du tourillon. Souvent on supprime en même temps les coins de rattrapage de jeu aux glissières des boîtes. L'accouplement des essieux est ainsi notablement simplifié et une machine bien montée à l'atelier ne sera pas dérégulée en service. Ces bielles marchent assez longtemps sans retouche : la réparation consiste à remplacer ou à réguler les bagues, puis à les aléser : les rappliques des glissières de boîtes peuvent être en même temps changées, si les boîtes ont trop de jeu.

L'évidement des corps (fig. 134) permet de donner aux longues bielles une résistance suffisante sans les faire trop lourdes. La longueur de certaines bielles atteint 3 m.

Lorsque plus de deux essieux sont accouplés, on ne peut monter de chaque côté de la machine une bielle rigide unique, parce que les centres des essieux ne restent pas en

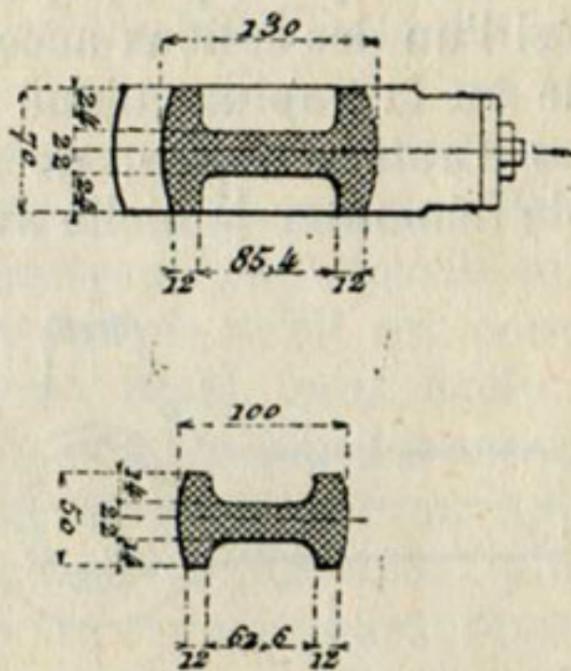
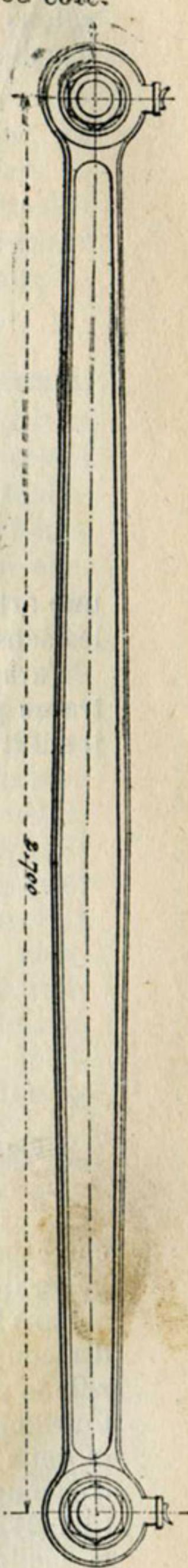


Fig. 134. — Bielle d'accouplement à bagues, avec corps évidé, des chemins de fer de l'Ouest.



ligne droite; les bielles doivent se monter séparément sur les tourillons de deux essieux voisins, ou bien, ce qui est la disposition usuelle, présenter une articulation près d'un tourillon (fig. 135). Avec

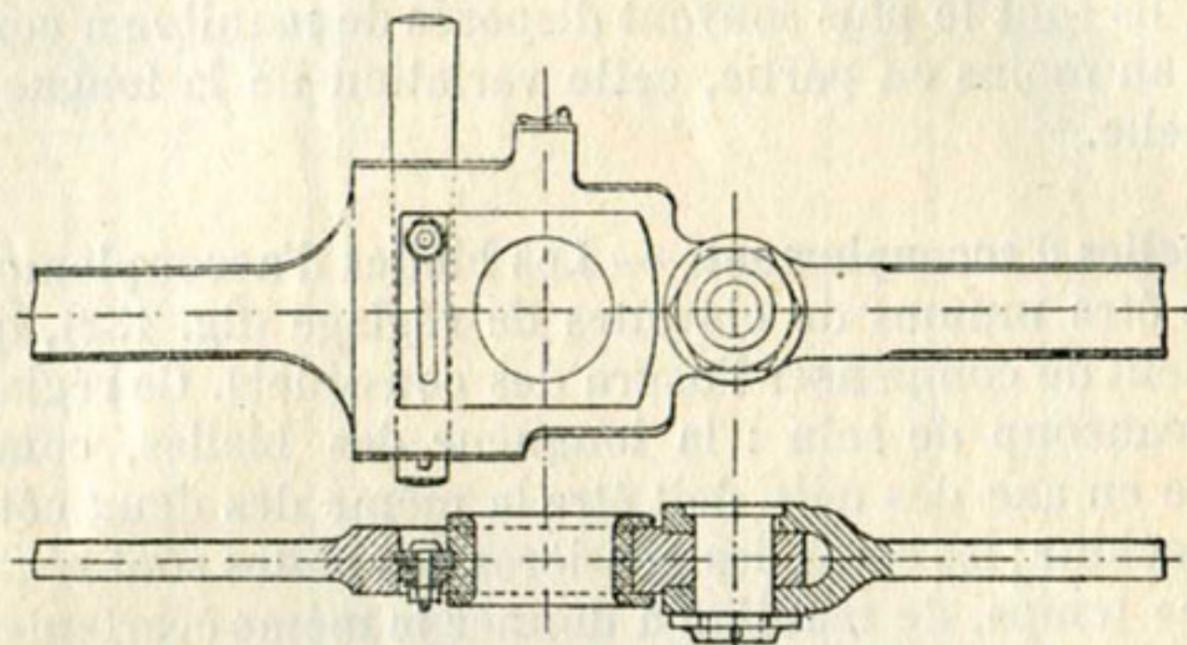


Fig. 135. — Articulation des bielles d'accouplement, pour plus de deux essieux couplés.

une articulation sphérique (fig. 136), la bielle peut se dévier dans tous les sens, si l'un des essieux accouplés a un jeu transversal.

L'avarie ou la rupture d'une bielle d'accouplement, si elle n'entraîne pas d'autres dégâts, ne cause pas forcément une détresse : il suffit de démonter la bielle avariée ou brisée, ainsi que la bielle

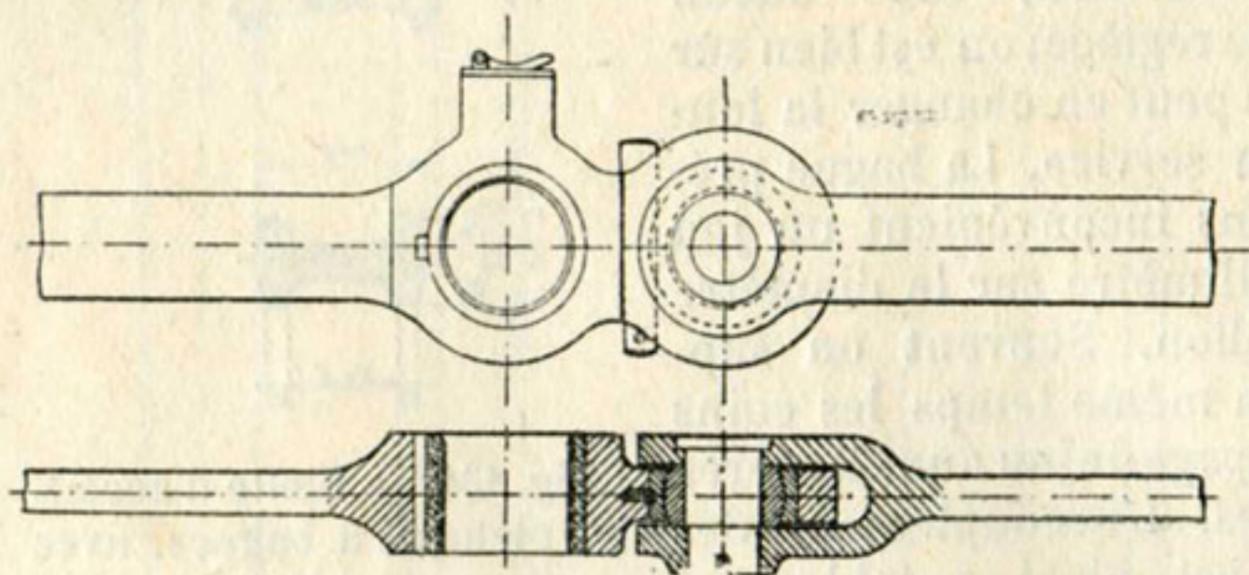
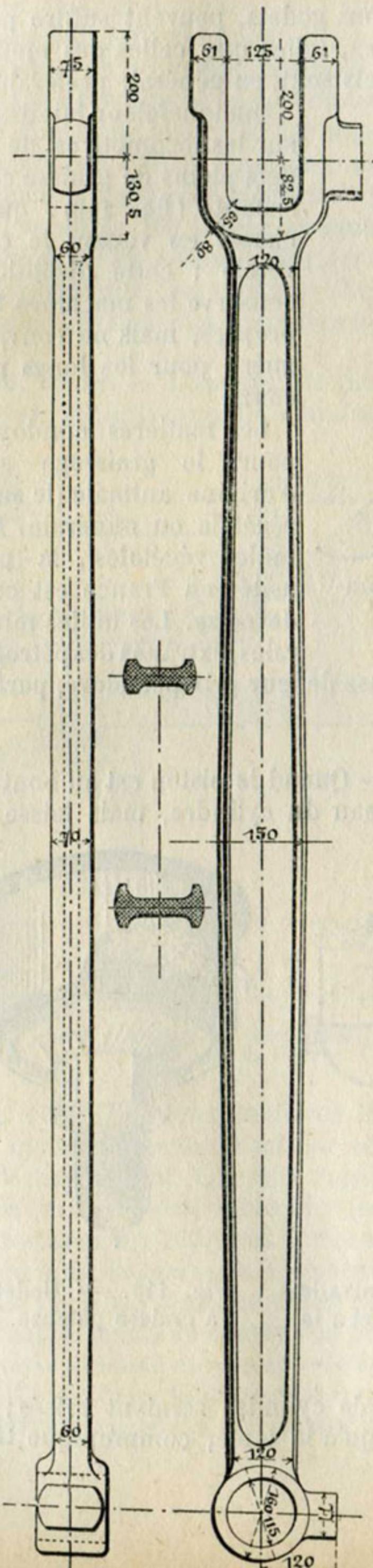


Fig. 136. — Articulation sphérique d'une bielle d'accouplement, pour essieux à déplacement transversal.

correspondante de l'autre côté de la machine ; ce démontage est généralement facile.

Dans les machines à cylindres intérieurs, le montage des bielles d'accouplement est fort simple : elles sont maintenues sur les tourillons par un écrou vissé et goupillé sur un prolongement fileté du tourillon. Le montage reste aussi simple avec des cylindres extérieurs, et deux essieux couplés, quand la bielle motrice est derrière la bielle d'accouplement, sur le bouton de manivelle de l'essieu moteur (fig. 247) ; mais lorsque la bielle d'accouplement se trouve derrière la bielle motrice, ou lorsque le bouton porte une contre-manivelle

Fig. 137. — Bielle d'accouplement de locomotives à grande vitesse des chemins de fer d'Orléans. D'après M. Demoulin.



pour la commande de la distribution, le montage est moins simple. Les coussinets doivent alors être contenus dans des cages ou des chapes démontables, au moins à l'une des extrémités de la bielle (fig. 137). Avec cette disposition, les moyens de réglage peuvent être également supprimés.

78. Graissage des mécanismes.

— Il est nécessaire que les parties frottantes des machines soient bien graissées. Pour les articulations soumises à de grands efforts, comme les boutons de manivelle, les poulies d'excentriques, la matière lubrifiante est contenue dans un réservoir, qui doit suffire pour les plus longs parcours : cette condition exige des godets graisseurs, de capacité suffisante, et dont le débit est convenablement réglé, sans excès. L'huile est débitée par des mèches (voir fig. 223), ou par un appareil à épinglette (fig. 138), plus commode et ne dépensant pas d'huile pendant les arrêts. On réduit ou on augmente à volonté le débit, en employant des épinglettes de grosseurs diverses.

On peut même supprimer l'épinglette, et se contenter d'un trou, percé au fond d'une petite coupe, où l'huile est projetée par les mouvements ou les trépidations des pièces. Le diamètre du trou est inférieur à 1 millimètre.

Au lieu de faire corps avec la bielle, le godet graisseur peut être fixé sur le tourillon (fig. 139), percé de trous qui débouchent sur la surface frottante.

De simples trous de graissage, sans godets, peuvent suffire pour les articulations les moins fatiguées, telles que celles des mouvements de distribution, mais les godets sont, en général, préférables.

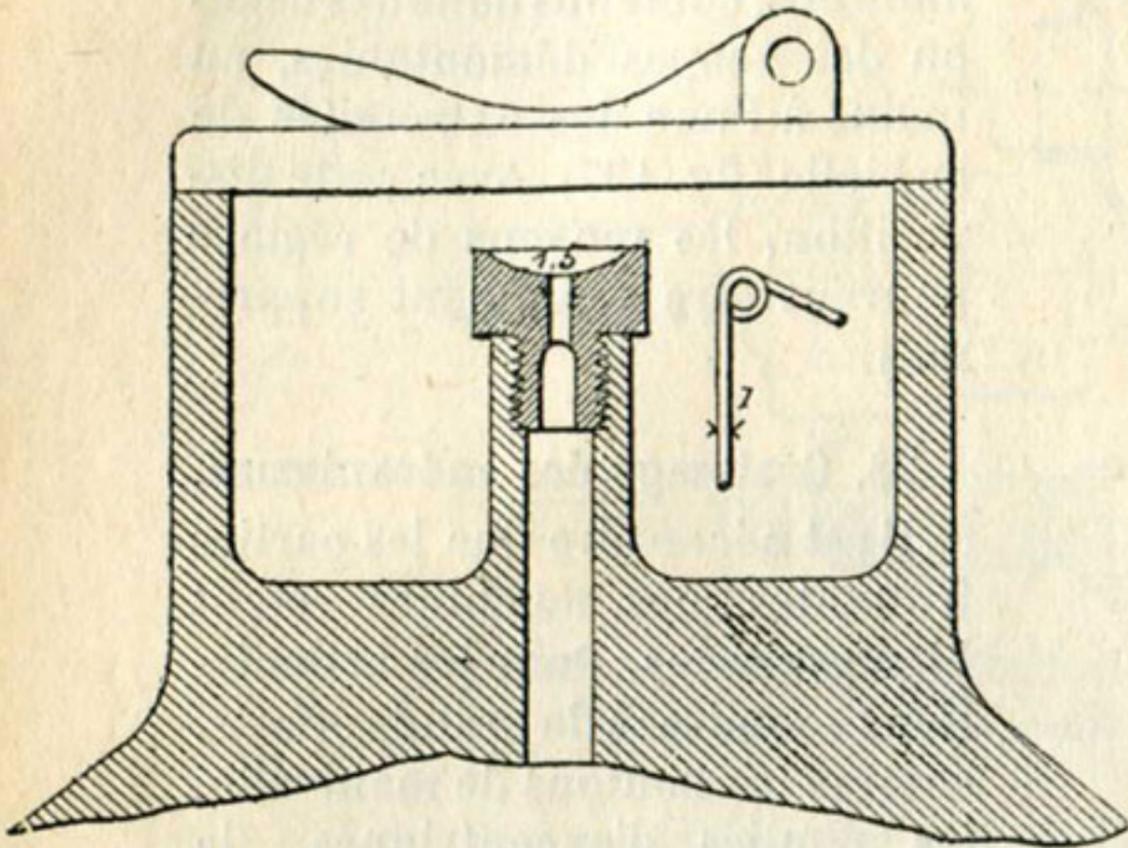


Fig. 138. — Graisseur à épinglette; l'épinglette est placée dans le trou.

sont fréquemment employées, à cause de leur prix peu élevé, parfois en mélange avec le colza.

79. Espaces libres des cylindres. — Quand le piston est au bout de sa course, il ne touche pas le plateau du cylindre, mais laisse un

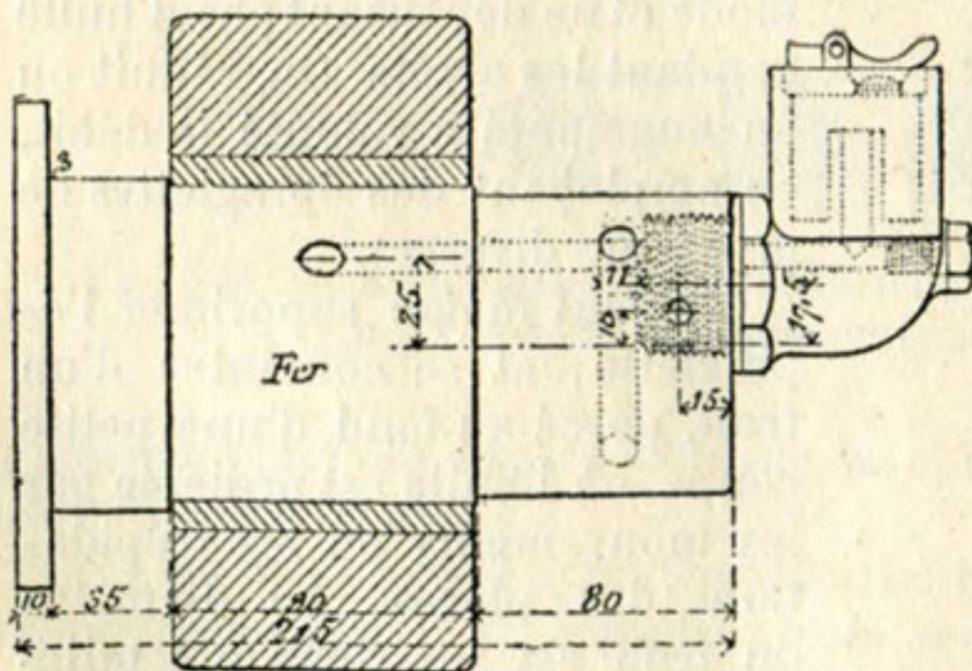


Fig. 139. — Graisseur sur bouton de manivelle des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

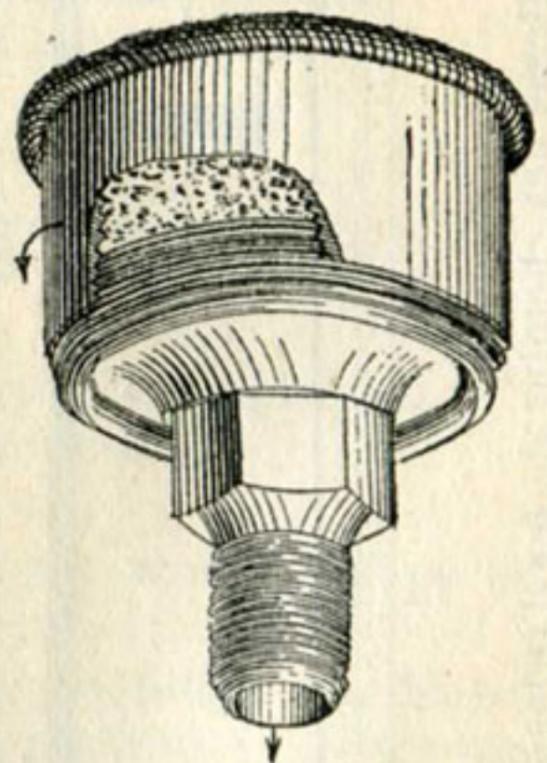


Fig. 140. — Godet à graisse pâteuse.

Quelquefois on fait usage, sur les locomotives, de godets pleins de graisse consistante (fig. 140), qu'on chasse en vissant le couvercle : cette disposition conserve les machines très propres, mais ne convient guère pour les longs parcours.

Les matières employées pour le graissage sont d'origine animale (le suif), végétale ou minérale. Des huiles végétales, la plus usitée en France est celle de colza. Les huiles minérales, extraites des pétroles,

certain jeu; sans ce jeu, les fonds de cylindre seraient brisés; en outre, la lumière d'admission, jusqu'à la table, communique tou-

jours avec le cylindre ; la capacité totale ainsi formée s'appelle espace libre du cylindre : il y a deux espaces libres dans chaque cylindre, un à chaque extrémité.

Dans un cylindre de locomotive ayant 450 mm de diamètre avec une course de piston de 650 mm, chacun de ces deux espaces a une capacité de 7 litres environ ; s'il n'y avait pas d'espaces libres, la capacité du cylindre, déduction faite de la place occupée par le piston, serait de 103 litres ; chaque espace libre est donc le quinzième environ de ce volume. Sur les locomotives compound, on a souvent augmenté les espaces libres, notamment en montant des pistons évidés dans des cylindres à fonds plats.

80. Tiroir. — L'appareil le plus simple pour distribuer la vapeur est le tiroir ordinaire. Le cylindre présente trois conduits ou lumières

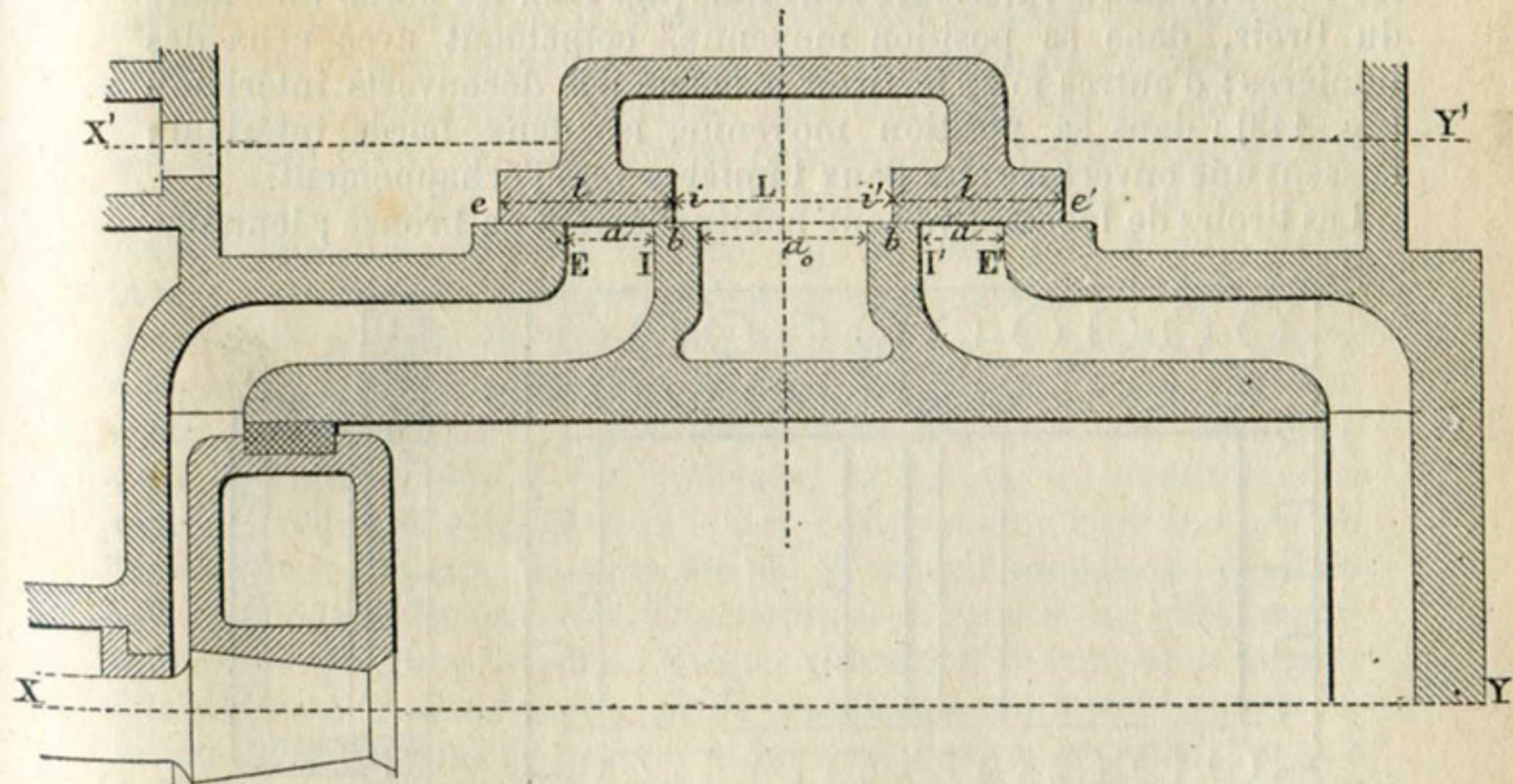


Fig. 141. — Tiroir sur la table des lumières.

E, E', bords *extérieurs* des lumières ; I, I', bords *intérieurs* des lumières ; e, e', bords *extérieurs* du tiroir ; i, i', bords *intérieurs* du tiroir.

(fig. 141) : les deux lumières latérales aboutissent aux extrémités du cylindre ; celle du milieu communique avec l'extérieur et sert à l'échappement. Ces trois lumières débouchent sur une face plane bien dressée, dite table des lumières, dans la boîte à vapeur. Les ouvertures des lumières sur la table sont des rectangles de hauteur commune, séparés par des barrettes en fonte.

Le tiroir présente une face plane glissant sur la table ; cette face est un rectangle de hauteur un peu plus grande que celle des lumières ; dans sa position moyenne, elle dépasse également les bords extérieurs E, E', des deux lumières d'admission, d'une longueur dite recouvrement extérieur. La face plane du tiroir présente en outre un évidement

ment rectangulaire de hauteur égale à celle des lumières ; dans sa position moyenne, les bords de cet évidement dépassent un peu les bords intérieurs I, I', des lumières, d'une longueur dite recouvrement intérieur. Cependant il n'en est pas toujours ainsi : souvent

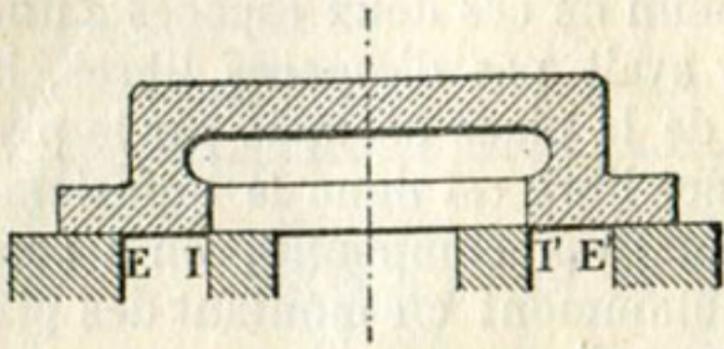


Fig. 142. — Tiroirs sans recouvrements intérieurs.

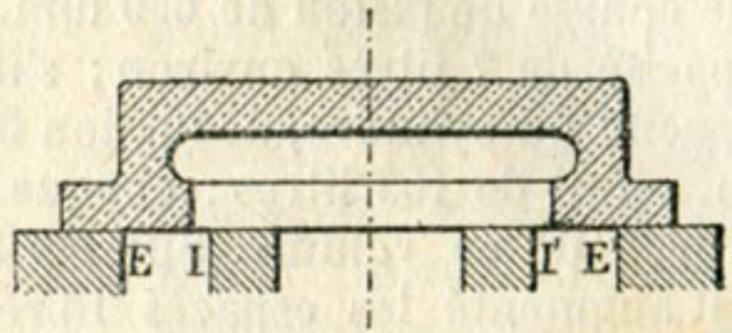


Fig. 143. — Tiroir à découverts intérieurs.

les recouvrements intérieurs sont nuls (fig. 142), les bords intérieurs du tiroir, dans sa position moyenne, coïncidant avec ceux des lumières ; d'autres fois, le tiroir a même des découverts intérieurs (fig. 143) : dans sa position moyenne, les deux bords intérieurs laissent une ouverture aux deux lumières vers l'échappement.

Les tiroirs de locomotive sont habituellement en bronze ; leur sur-

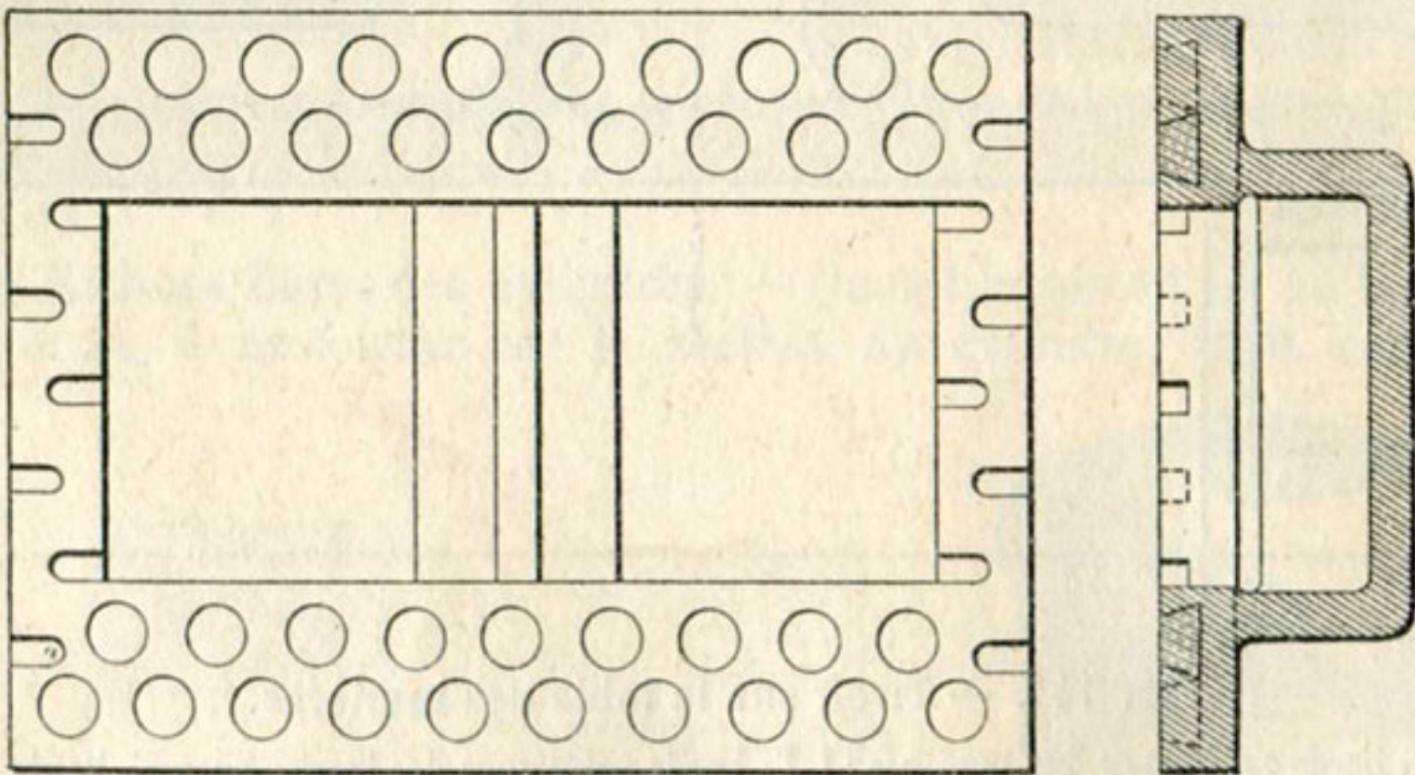


Fig. 144. — Tiroir garni de macarons en régule, et muni d'encoches latérales.

face frottante peut être garnie de barrettes ou de macarons en régule (fig. 144), terminés par une partie conique qui les enrachine solidement. La surface des macarons varie du quart au tiers de la surface de portée totale. On ménage aussi quelquefois des encoches sur les bords pour mieux distribuer l'huile de graissage. Certaines locomotives ont des tiroirs en fonte ; l'emploi de la fonte était fréquent autrefois, avec des pressions de vapeur modérées. Quand la charge n'est pas trop forte, le frottement de la fonte sur la fonte peut donner aux surfaces de contact un beau poli ; les tiroirs restent

bien étanches et s'usent peu. Mais, avec les fortes pressions usitées aujourd'hui, une usure rapide des tables est à craindre sous un tiroir en fonte : mieux vaut user le tiroir, facile à remplacer.

81. Phases de la distribution. — Le tiroir, réglant l'entrée dans le cylindre, puis la sortie de la vapeur, effectue ce qu'on appelle la distribution. La figure 145 représente cette distribution pour l'une des faces du piston, celle de gauche sur la figure.

Le tiroir laisse ouverte la lumière de gauche, pendant un parcours 1 — 2 du piston, qui part du fond de course en 1 ; la vapeur de la chaudière entre dans le cylindre : c'est la période d'*admission*. Puis, pendant un parcours 2 — 3, cette vapeur est enfermée dans le cylindre, et continue à pousser le piston avec une pression décroissante : c'est la période de *détente*. Quand le piston est en 3, le dedans du tiroir met en communication la lumière de gauche avec la lumière du milieu, qui aboutit au dehors ; la vapeur s'échappe du cylindre : c'est la période d'*échappement anticipé*, qui commence avant que le piston ne soit arrivé au bout de sa course, en 4 ; l'effort moteur est réduit pendant cette période 3 — 4, mais la pression a le temps de baisser suffisamment pour ne pas opposer une trop grande résistance, quand le piston va revenir en arrière, pendant l'*échappement* : dans cette période, le piston fait le trajet 4 — 5. Quand le piston est en 5, le tiroir referme la lumière de gauche ; la vapeur qui reste dans le cylindre, à une pression ne dépassant pas beaucoup celle de l'atmosphère, y est enfermée. Le piston, en continuant sa marche, réduit le volume occupé par cette vapeur ; c'est une action inverse de la détente ; la pression de la vapeur augmente pendant cette période de *compression*. La compression produit un effet important ; à chaque coup de piston, l'espace libre doit se remplir de vapeur à la pression de l'admission ; il en résulterait une notable augmentation de la dépense de vapeur, si la compression ne venait fournir au moins une partie, et parfois la totalité de cette vapeur qui remplit l'espace libre ; au moment où le tiroir ouvre la lumière d'admission, la vapeur qui doit entrer dans le cylindre trouve cet espace en partie occupé. Toutefois il faut remarquer que, si la dépense de vapeur est diminuée par la compression, c'est aux dépens du travail que produit le piston, puisque cette compression est une résistance croissante qu'il surmonte.

Enfin, dans une position 6, un peu avant que le piston ne soit arrivé exactement à son fond de course, le tiroir commence à démasquer la lumière pour l'admission, et produit l'*admission anticipée*. On pourrait croire que cette admission anticipée est nuisible, puisqu'on oppose la pression de la vapeur au piston pendant la fin de sa course ; mais, quand cette admission anticipée se produit, la compression a déjà relevé la pression de la vapeur dans le cylindre, et le tiroir n'ouvre qu'une fente étroite, si bien qu'il

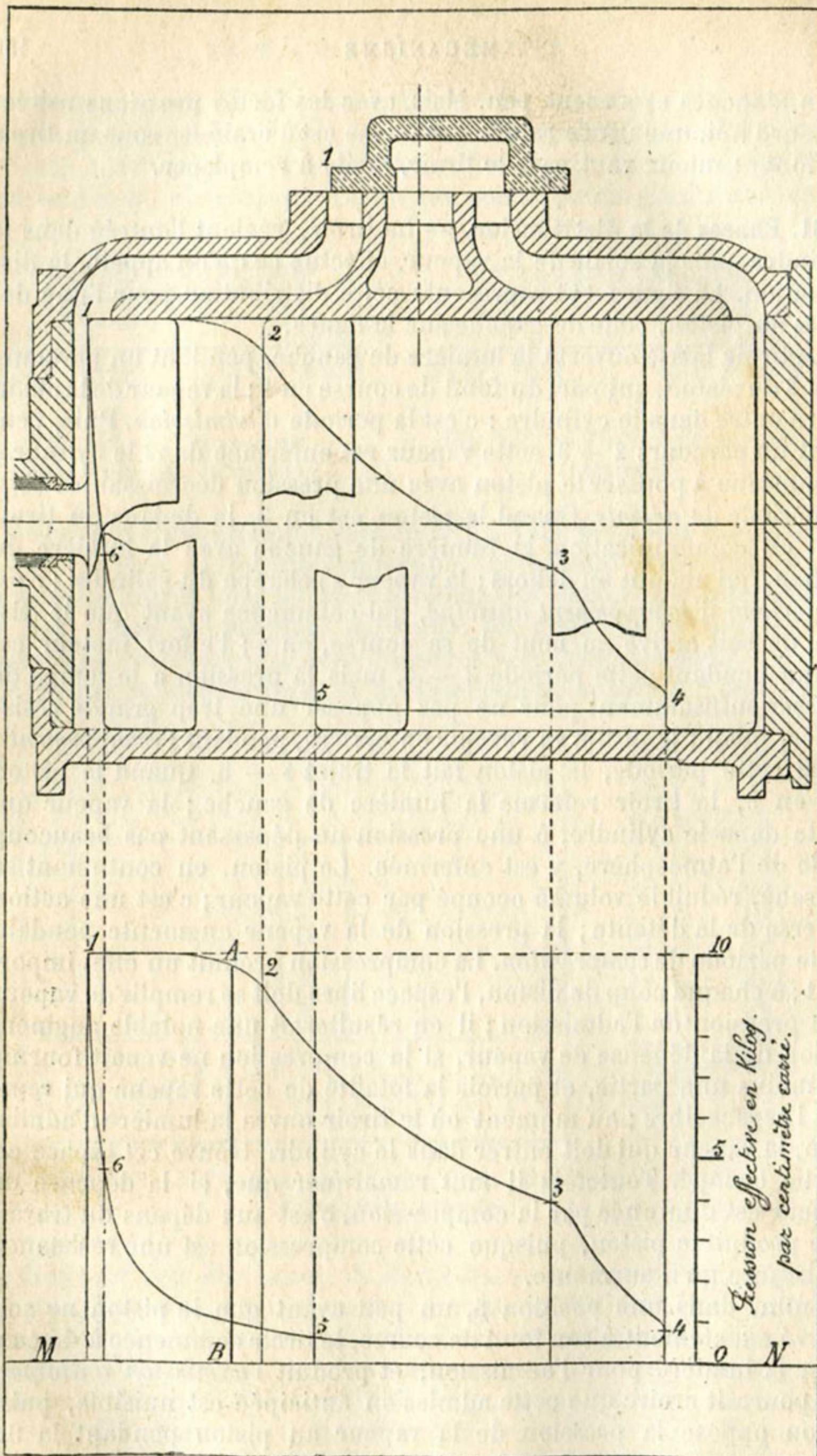


Fig. 145. — Phases de la distribution et diagramme d'indicateur ; tiroir dans la position d'avance linéaire.

n'entre pas beaucoup de vapeur dans le cylindre pendant cette période, qui ne correspond qu'à un parcours peu étendu du piston. Grâce à cette ouverture anticipée de la lumière, au moment où le piston repart de son fond de course pour commencer son parcours moteur, la vapeur trouve un passage plus grand dès le début de la période d'admission. La distance du bord du tiroir au bord de la lumière, au moment précis où commence l'admission proprement dite, ou à l'instant où le piston est à fond de course, s'appelle *avance linéaire du tiroir* : c'est la largeur de la fente ainsi ouverte à ce moment. Sur la figure 145, le tiroir est représenté dans une de ses deux positions d'avance linéaire, celle qui correspond à la face gauche du piston.

En résumé, si on considère un seul côté du piston (le côté gauche de la figure), pour une course aller et retour, la distribution a les six phases suivantes :

<p>Aller du piston</p>	<p>{ Admission. Détente. Echappement anticipé.</p>
<p>Retour du piston</p>	<p>{ Echappement. Compression. Admission anticipée.</p>

Sur l'autre face du piston (côté droit de la figure), on trouve pour une course complète aller et retour, à partir du fond de course à droite, les six mêmes phases.

Chacun des côtés du piston travaille ainsi pour son compte; la locomotive est une machine à double effet. Le piston d'une machine à simple effet ne travaille que d'un seul côté, et le cylindre peut être ouvert du côté opposé.

82. Laminage de la vapeur. — Pour que la pression de la chaudière s'établisse dans le cylindre pendant toute l'admission, il faut que les conduits suivis par la vapeur soient largement ouverts et que la marche de la machine soit lente; mais le tiroir ne donne pas toujours un large passage; quand il vient d'ouvrir et quand il va fermer une lumière, il ne démasque qu'une fente étroite; et le piston marche souvent très vite. Alors la vapeur n'entre pas dans le cylindre en quantité suffisante pour y prendre la même pression que dans la boîte à tiroir: on dit qu'elle *se lamine*. Le même effet se produit quand la vapeur passe de la chaudière à la boîte à vapeur, si le régulateur n'est pas largement ouvert: la pression dans la boîte à vapeur est alors moindre que dans la chaudière. Même avec le régulateur complètement ouvert, on constate, pendant la marche à grande vitesse, d'incessantes fluctuations de la pression dans la boîte à vapeur du cylindre. Au moment où le tiroir ouvre l'échappement, la vapeur ne peut pas sortir instantanément du cylindre, et la pression

ne devient pas tout de suite égale à celle de l'atmosphère ; et même, surtout si la tuyère d'échappement est étroite, le piston est soumis pendant toute sa course à une contre-pression plus grande que la pression de l'atmosphère.

Tout en causant une petite perte sur le travail que donne la vapeur, le laminage améliore les distributions par coulisses des locomotives, en allongeant la période de détente aux dépens de l'admission et de l'échappement anticipé. Quand le tiroir se referme vers la fin de l'admission, la pression baisse et la détente commence avant la fermeture complète de la lumière ; c'est comme si la période

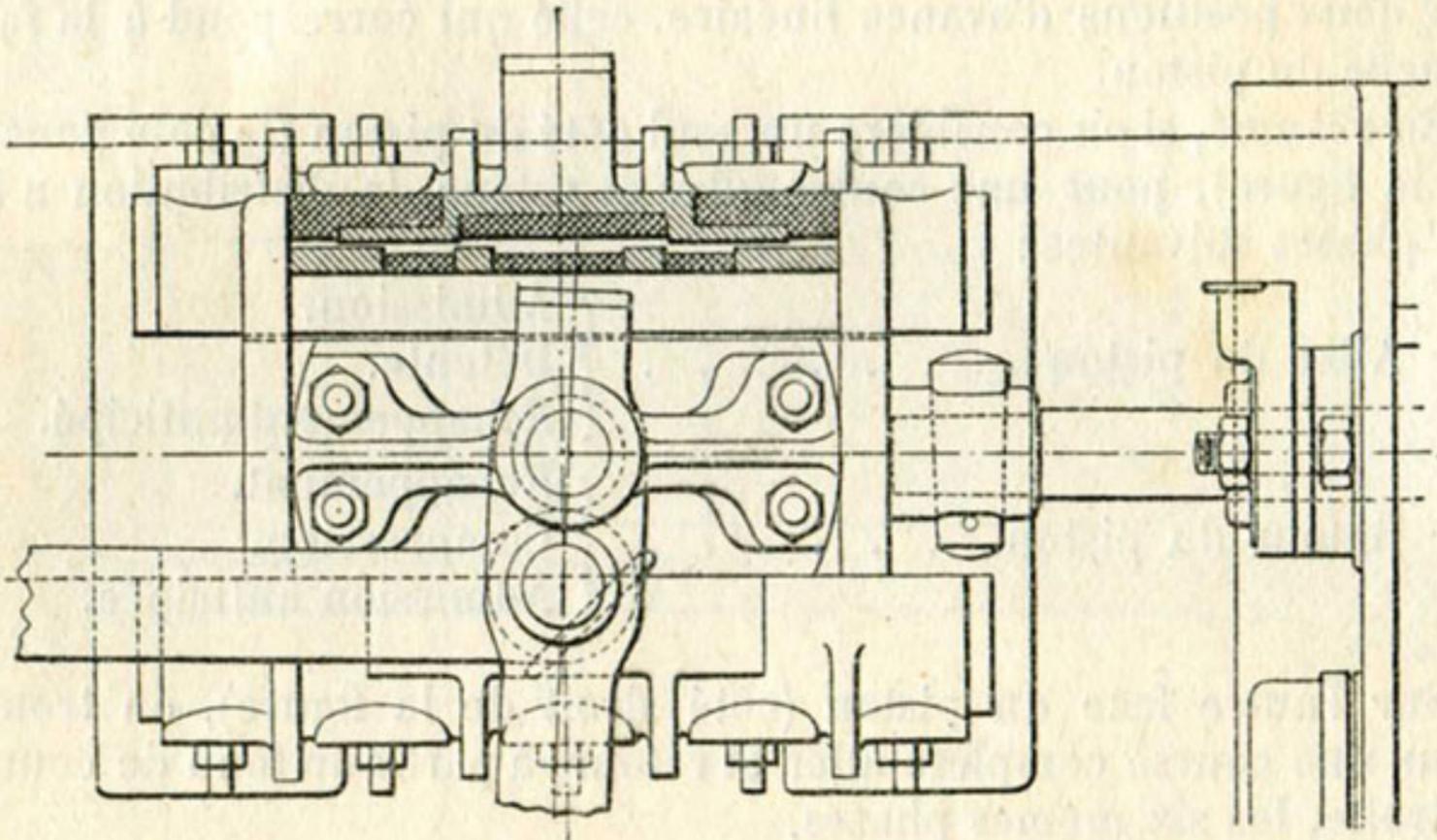


Fig. 146. — Commande du tiroir, avec modèle apparent, des locomotives nos 2 301 à 2 304 des chemins de fer de l'Ouest. La tige du tiroir est clavetée dans une pièce qui porte un modèle en coupe du tiroir ; sur le guide fixe de cette pièce mobile sont tracées les lumières du cylindre. Cette disposition a été appliquée depuis longtemps en Belgique, sur des machines fixes, par M. Guinotte.

d'admission était un peu plus courte. Quand l'échappement anticipé commence, l'ouverture du tiroir est faible, et, en réalité, la détente continue, sans qu'il sorte beaucoup de vapeur du cylindre. Ces effets sont surtout sensibles à grande vitesse.

Pendant le retour du piston, le laminage augmente l'importance de la compression.

83. Indicateur et diagrammes. — On se rend compte de la distribution en regardant des modèles ou des dessins ; on peut en examiner le réglage, sur la locomotive même, à froid, en démontant le plateau du tiroir ; la tige du tiroir de certaines locomotives porte, à l'extérieur de la boîte à vapeur, un modèle du tiroir, qui en montre constamment la position sur les lumières (fig. 146). Mais pour savoir avec précision comment la vapeur est réellement distribuée

dans la machine en marche, il faut connaître à chaque instant la pression sur le piston et l'effet des laminages. Pour cette étude, on se sert d'un *indicateur* (fig. 147); un petit cylindre vertical (ayant un diamètre de 20 mm), communique avec le cylindre de la locomotive, du côté où l'on veut étudier le travail de la vapeur : elle entre librement dans ce petit cylindre et soulève le piston dont il est muni. Un ressort à boudin appuie sur ce piston et se comprime plus ou moins suivant la pression de la vapeur ; chaque flexion du ressort exige une force qu'on a mesurée d'avance en le tarant. Si on pouvait voir à chaque instant quelle est la longueur du ressort, on connaîtrait la pression de la vapeur. Mais l'observation directe n'est guère possible. Un crayon, relié au piston de l'indicateur, en trace la position sur une feuille de papier. Si ce papier ne bougeait pas, le crayon laisserait un simple trait vertical : aussi ratta- che-t-on le support du papier à la tête du piston de la locomotive, de manière qu'il se déplace horizontalement comme ce piston. La course du piston étant de 60 à 65 cm, il faudrait une longue bande de papier et un appareil encombrant pour la porter : aussi réduit-on la course dans un rapport déterminé ; mais le déplacement du papier de l'indicateur permet toujours de connaître la position du piston de la locomotive. Par exemple, si le point A est au quart de la longueur du tracé du crayon, dit *diagramme* (fig. 145), à ce moment le piston était également au quart de sa course, et la pression effective de la vapeur, ou pression au-dessus de celle de l'atmosphère, est mesurée par la longueur A B, qui enregistre la flexion du ressort. M N est le trait du crayon, lorsque l'indicateur ne communique pas avec le cylindre de la locomotive, c'est-à-dire quand la pression atmosphérique s'exerce sur les deux faces de son piston.

Sur le diagramme, la partie 1 — 2 est tracée pendant l'admission, avec laminage surtout vers la fin, quand le tiroir rétrécit l'orifice de

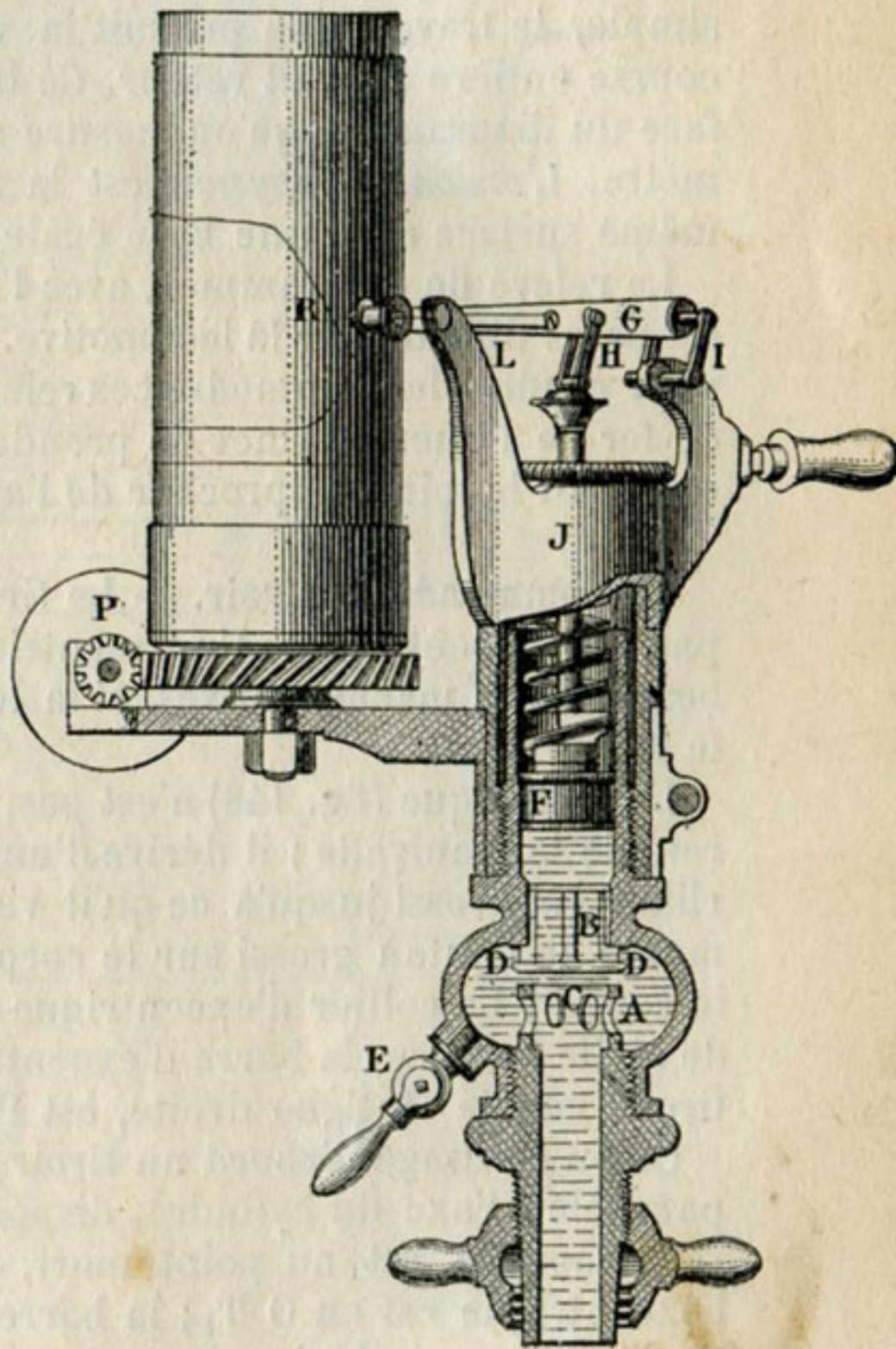


Fig. 147. — Indicateur Martin.

passage de la vapeur ; 2 — 3 est tracé pendant la détente, 3 — 4 pendant l'échappement anticipé ; le piston moteur revient alors en arrière ; 4 — 5 est tracé pendant l'échappement, 5 — 6 pendant la compression, 6 — 1 pendant l'admission anticipée. Avec un peu d'habitude, on voit assez bien sur les diagrammes, fournis par l'indicateur, la position de ces points 2, 3 et 5 ; la place exacte du point 6 n'est guère indiquée, et on ne peut le plus souvent que la conjecturer.

Connaissant ainsi la pression exacte sur le piston à chaque instant et le chemin qu'il fait, on en déduit, par une méthode de calcul simple, le travail que produit la vapeur sur le piston pendant une course entière aller et retour. Ce travail est proportionnel à la surface du diagramme, qu'on mesure avec un instrument nommé planimètre. L'*ordonnée moyenne* est la hauteur du rectangle qui aurait même surface avec une base égale à la longueur du diagramme.

Le relevé de diagrammes, avec l'indicateur qui vient d'être décrit, est assez difficile sur la locomotive. Divers appareils ont été imaginés pour rendre plus commodes ces relevés. L'*auto-indicateur* des chemins de fer de l'Ouest permet de prendre des séries de diagrammes sans qu'on ait besoin d'approcher de l'appareil, monté près des cylindres.

84. Commande du tiroir. — Le tiroir est le plus souvent commandé par des excentriques. Un excentrique unique suffirait, comme pour beaucoup de machines fixes, si la locomotive marchait toujours dans le même sens.

L'excentrique (fig. 148) n'est pas, en principe, un mécanisme différent de la manivelle ; il dérive d'une manivelle ordinaire dont le tourillon est grossi jusqu'à ce qu'il vienne enfermer l'essieu : alors on monte ce bouton grossi sur le corps de l'essieu, sans être obligé de le couder. Le collier d'excentrique est l'équivalent de la grosse tête de bielle motrice : la barre d'excentrique, qui se rattache à la tige du tiroir, guidée en ligne droite, est l'équivalent du corps de la bielle.

Qu'on envisage d'abord un tiroir de machine fixe dont la tige est parallèle à l'axe du cylindre, disposition fréquente. Quand la manivelle motrice est au point mort, en $O M_1$ (fig. 149), le rayon de l'excentrique est en $O T_1$; la barre d'excentrique est en $T_1 A_1$; le tiroir découvre légèrement une des lumières et dépasse le bord extérieur de cette lumière de la longueur dite avance linéaire.

Quand la manivelle motrice, en tournant, est venue en $O M$, le rayon de l'excentrique a tourné du même angle et a pris la position $O T$. Pour connaître le déplacement du tiroir, on n'a qu'à porter en $T A$ la longueur de la barre : le tiroir a parcouru une longueur égale à $A_1 A$. Ce tracé exige une feuille de papier immense si on veut le faire à grande échelle ; aussi opère-t-on autrement : qu'on prenne, sur l'axe $O A_1$, $A_1 t_1$ égal à $A_1 T_1$ (ce qu'on pourrait faire en plaçant en A_1 la pointe d'un compas et décrivant un arc de cercle de rayon $A_1 T_1$), et, de même, $A t$ égal à $A T$ et par suite à $A_1 T_1$; $t_1 t$ est égal à $A_1 A$,

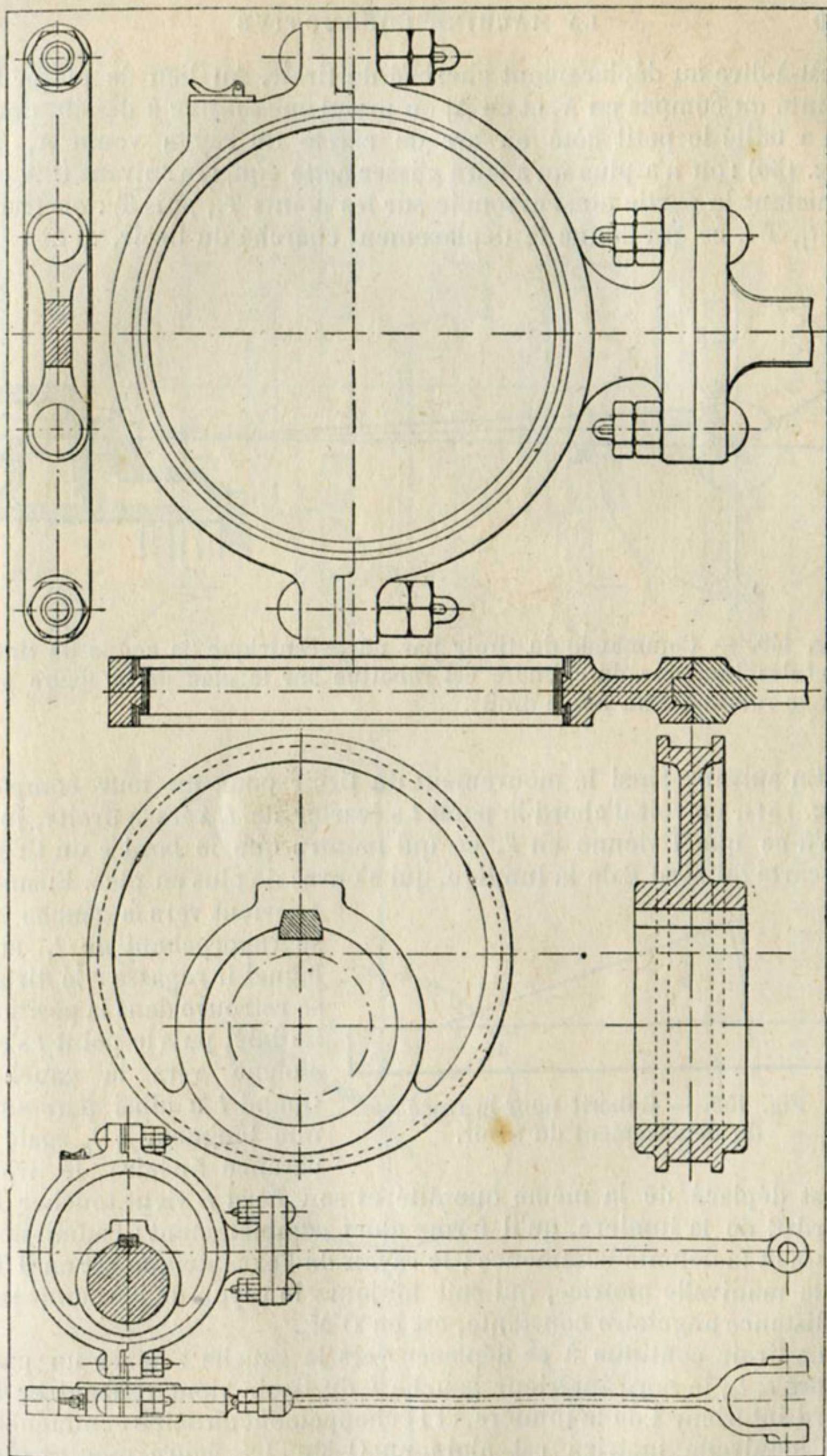


Fig. 148. — Excentrique, collier et barre d'excentrique ; au-dessus, détails du collier et de l'excentrique.

c'est-à-dire au déplacement cherché du tiroir. Au lieu de placer la pointe du compas en A_1 et en A , on prend une *équerre* à dessin, dont on a taillé le petit côté en arc de cercle du rayon voulu $A_1 T_1$ (fig. 150) : on n'a plus qu'à faire glisser cette équerre suivant $O A$ en amenant la partie ainsi arrondie sur les points T_1 , puis T : on trace $T_1 t_1$, $T t$, ce qui donne le déplacement cherché du tiroir, $t_1 t$.

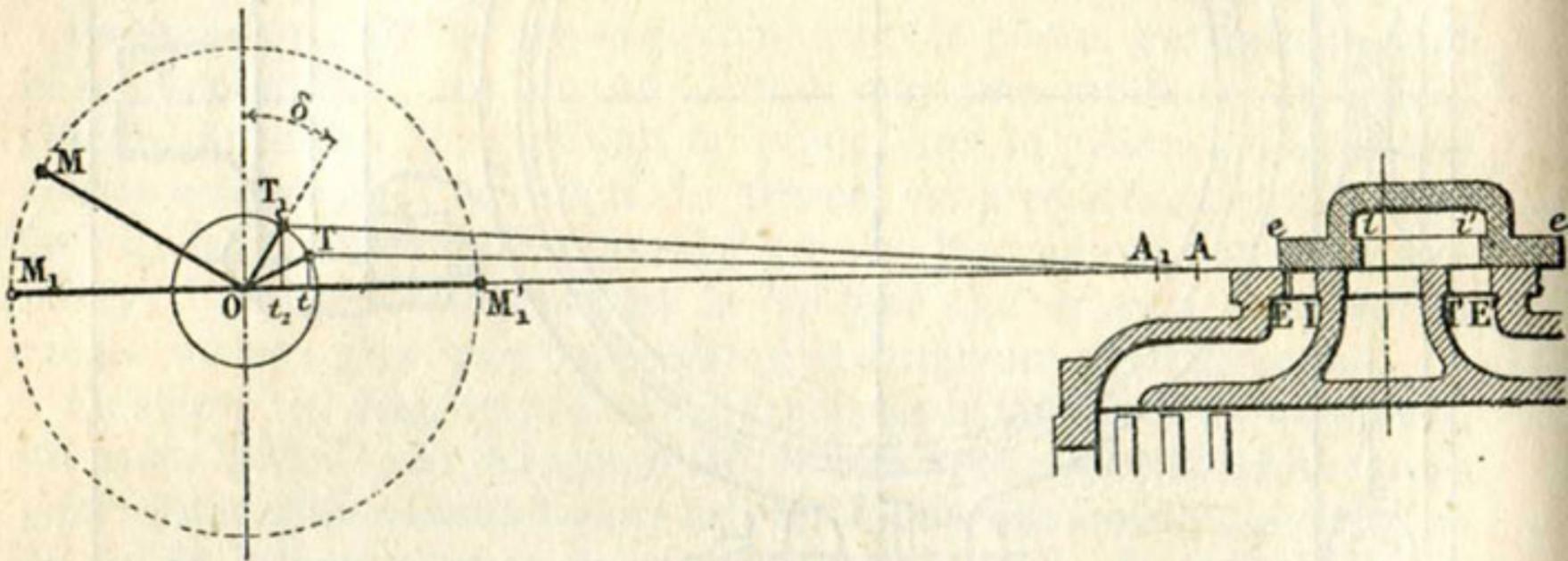


Fig. 149. — Commande du tiroir par un excentrique (la coupe du tiroir et des lumières du cylindre est rabattue sur le plan de la figure par une rotation d'un angle droit).

En suivant ainsi le mouvement du tiroir pour un tour complet (fig. 151), on voit d'abord le point t s'écarter de t_1 vers la droite, jusqu'à ce que T vienne en t' , ce qui montre que le bord e du tiroir s'écarte du bord E de la lumière, qui s'ouvre de plus en plus. Ensuite

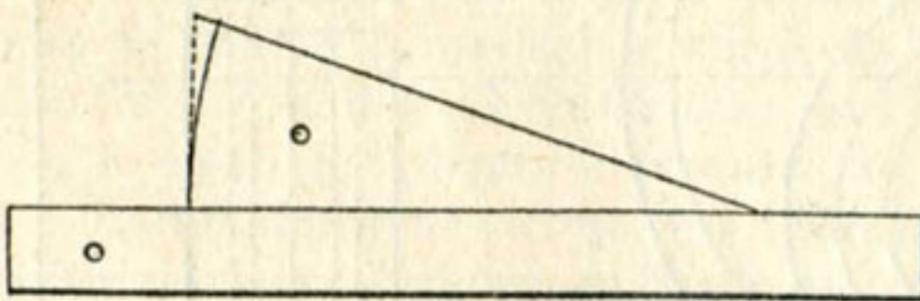


Fig. 150. — Gabarit pour le tracé du déplacement du tiroir.

t revient vers la gauche en se rapprochant de t_1 , sur lequel il repasse ; le tiroir se retrouve dans la position initiale ; puis le point t s'en éloigne vers la gauche. Quand t a ainsi parcouru une longueur $t_1 t_2$ égale à l'avance linéaire, le tiroir

s'est déplacé de la même quantité et son bord e vient toucher le bord E de la lumière, qu'il ferme alors complètement : l'admission cesse et la détente commence ; le rayon de l'excentrique est en $O T_2$ et la manivelle motrice, qui suit toujours le rayon de l'excentrique à distance angulaire constante, est en $O M_2$.

Le tiroir continue à se déplacer vers la gauche : après un parcours $t_2 t_3$, le bord intérieur gauche i du tiroir vient rencontrer le bord intérieur I de la lumière, et l'échappement anticipé commence. La manivelle motrice est alors en $O M_3$. La figure montre que le chemin $t_2 t_3$ est égal à la largeur ei de la bande du tiroir, diminuée de la largeur $E I$ de la lumière.

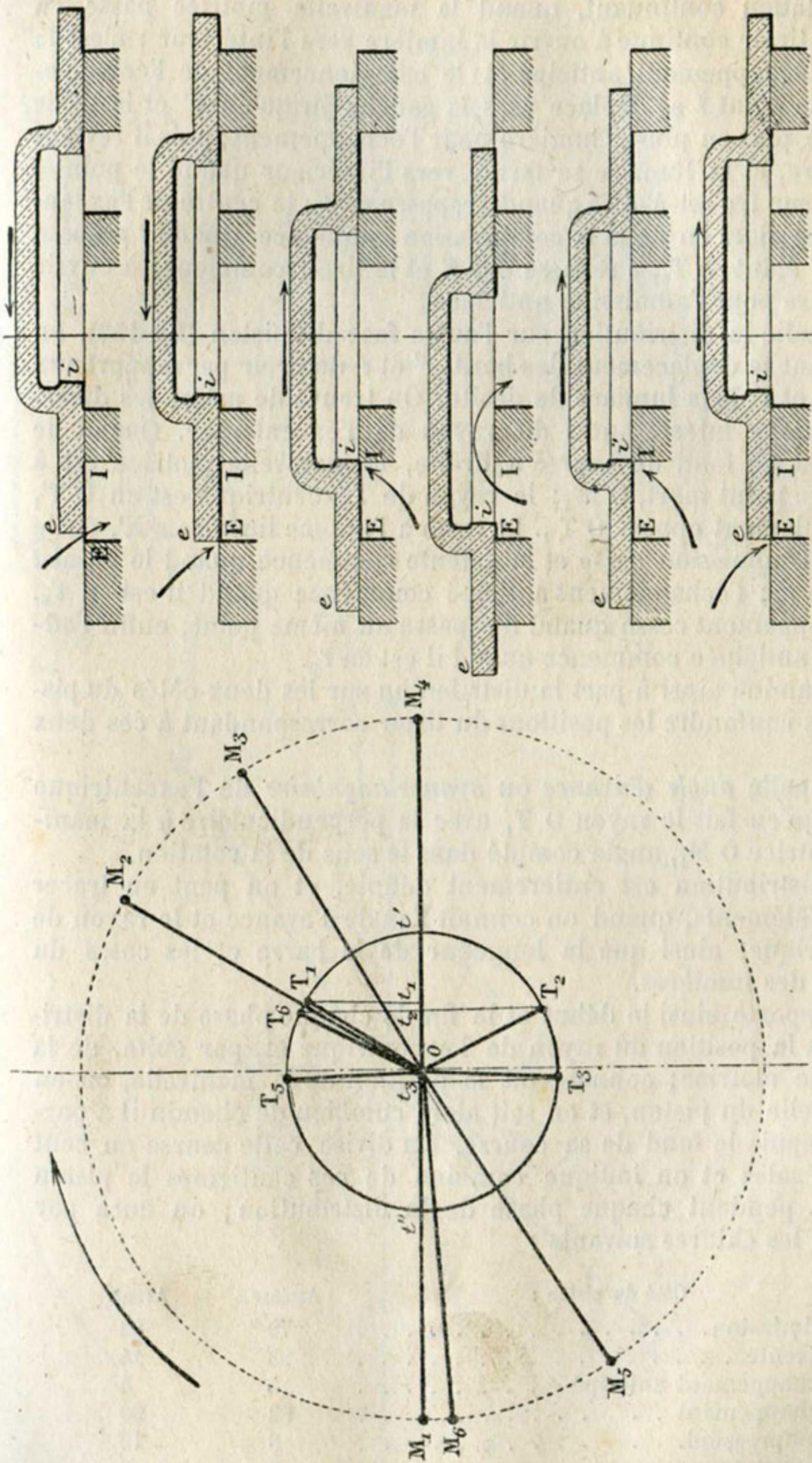


Fig. 151. — Positions de la manivelle motrice, du rayon de l'excentrique, et du tiroir, pour l'étude de la distribution sur la face arrière du piston. Positions diverses du tiroir.

1, avance linéaire ; 2, fermeture de l'admission ; 3, ouverture de l'échappement (anticipé) ; 4, commencement de l'échappement proprement dit, et avance linéaire pour l'autre face ; 5, fermeture de l'échappement ; 6, ouverture de l'admission (anticipée).
 (Les flèches indiquant le sens du mouvement du tiroir sont mal placées pour les positions 1 et 3.)

La rotation continuant, quand la manivelle motrice passe en $O M_4$, le tiroir continue à ouvrir la lumière vers l'intérieur : c'est la fin de l'échappement anticipé et le commencement de l'échappement. Le point t se déplace vers la gauche jusqu'en t'' et le tiroir ouvre de plus en plus la lumière pour l'échappement; puis il revient en arrière, et la lumière se ferme vers l'intérieur quand le point i repasse sur I , c'est-à-dire quand t repasse en t_3 ; le centre de l'excentrique est alors en T_5 , et la compression commence. Quand t repasse sur t_2 , T étant en T_6 , e repasse sur E et le tiroir commence à ouvrir la lumière pour l'admission anticipée.

On étudie la distribution sur l'autre face du piston (fig 152), en examinant le déplacement des bords e' et i' du tiroir par rapport aux bords E' et I' de la lumière de droite. On trouve de même les diverses positions intéressantes du rayon de l'excentrique. Quand le piston est au fond de course à droite, la manivelle motrice est à son autre point mort, $O M'_1$; le rayon de l'excentrique est en $O T'_1$ diamétralement opposé $O T_1$. Le tiroir a l'avance linéaire $e' E'$, égale à $t'_1 t'_2$. L'admission cesse et la détente commence quand le point t passe en t'_2 ; l'échappement anticipé commence quand il est en t'_3 , et l'échappement cesse quand il repasse au même point; enfin l'admission anticipée commence quand il est en t'_2 .

On examine ainsi à part la distribution sur les deux côtés du piston, sans confondre les positions du tiroir correspondant à ces deux côtés.

On appelle *angle d'avance* ou *avance angulaire* de l'excentrique l'angle qu'en fait le rayon $O T_1$ avec la perpendiculaire à la manivelle motrice $O M_1$, angle compté dans le sens de la rotation.

Une distribution est entièrement définie, et on peut en tracer tous les éléments, quand on connaît l'angle d'avance et le rayon de l'excentrique, ainsi que la longueur de la barre et les cotes du tiroir et des lumières.

On rapporte ainsi le début et la fin de chaque phase de la distribution à la position du rayon de l'excentrique et, par suite, de la manivelle motrice; connaissant la position de la manivelle, on en déduit celle du piston, et on sait alors combien de chemin il a parcouru depuis le fond de sa course. On divise cette course en cent parties égales et on indique combien de ces centièmes le piston parcourt pendant chaque phase de la distribution; on aura par exemple les chiffres suivants :

Côté du piston :	Arrière.	Avant.
Admission	72	82
Détente	23	14
Échappement anticipé	5	4
Échappement	92	90
Compression	8	10
Admission anticipée	0	0

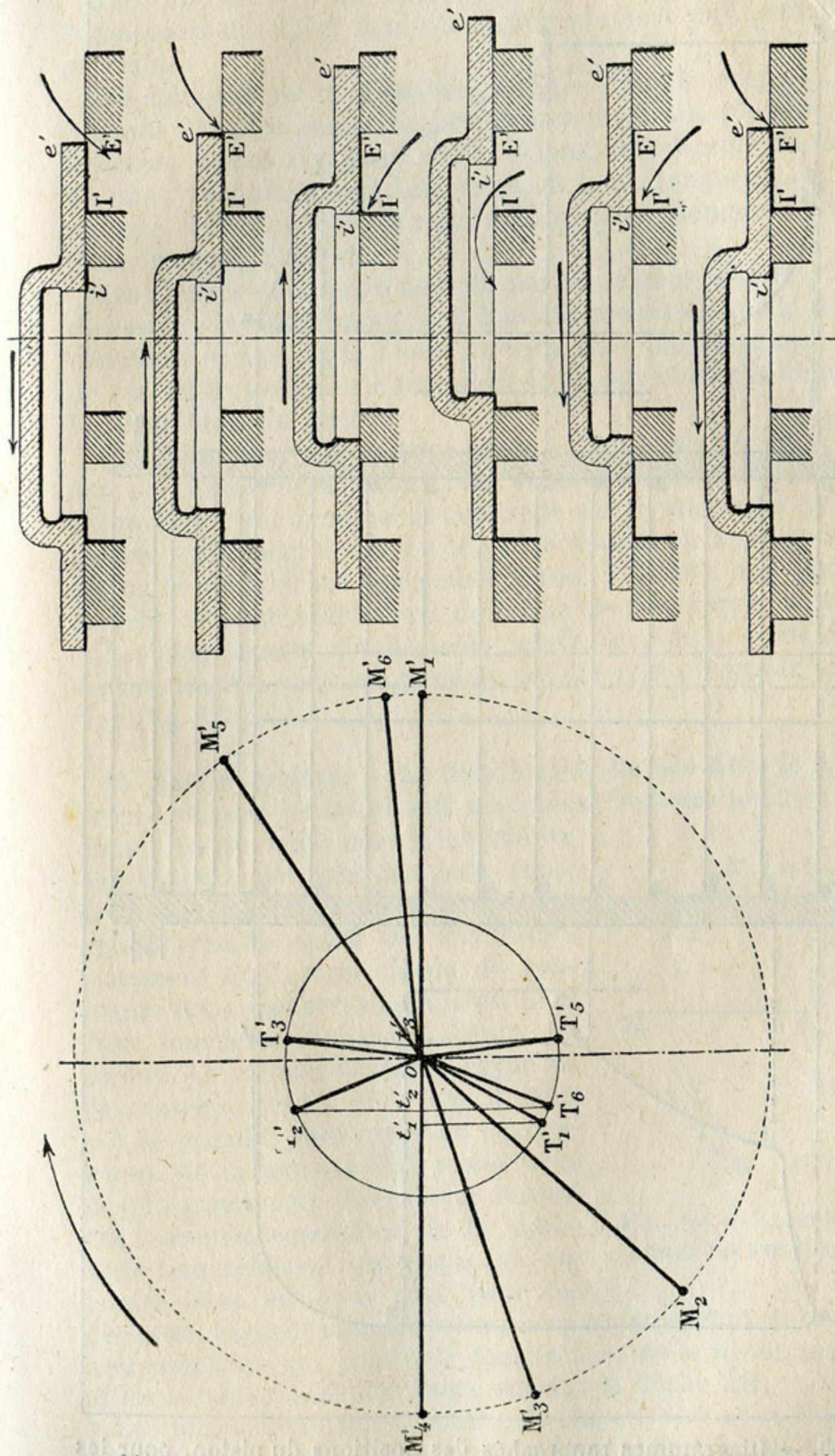


Fig. 152. — Positions de la manivelle, de l'excentrique et du tiroir pour la distribution sur la face avant du piston. Positions diverses du tiroir.

1, avance linéaire ; 2, fin de l'admission ; 3, commencement de l'échappement anticipé ; 4, échappement ouvert ; 5, fin de l'échappement ; 6, commencement de l'admission anticipée.

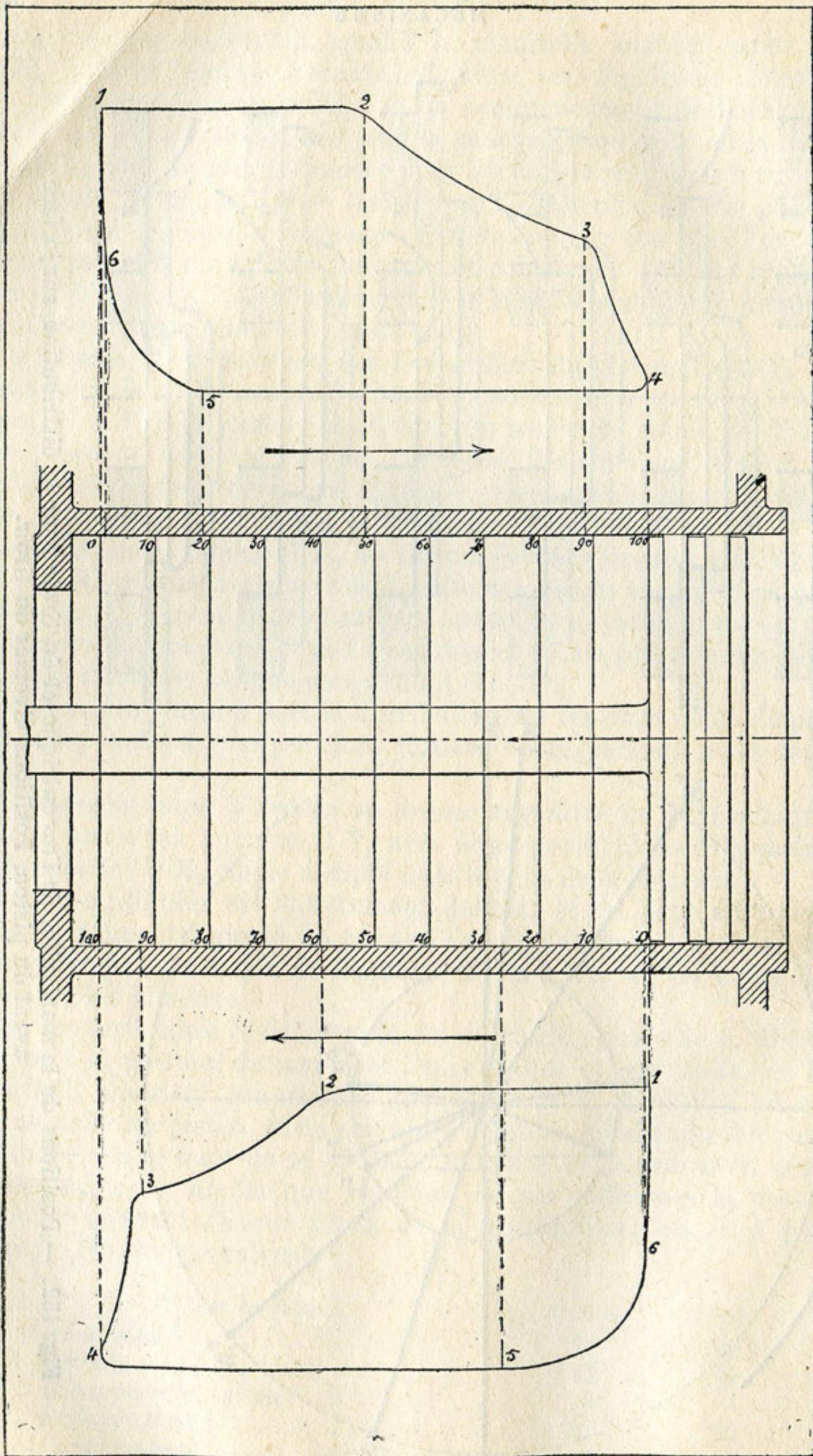


Fig. 153. — Diagrammes rapprochés des positions du piston, pour les deux faces du piston.

Avec une faible avance linéaire, le parcours du piston pendant l'admission anticipée, sans être rigoureusement nul, peut être inappréciable.

Les éléments de la distribution, citée comme exemple, sont les suivants : avance angulaire, 30° ; course du tiroir, 100 mm ; avances linéaires, égales des deux côtés, 3 mm ; recouvrements extérieurs, 22 mm ; recouvrements intérieurs, 5 mm ; longueur de la bielle motrice, 5 fois celle de la manivelle motrice ; longueur de la barre d'excentrique, 2,500 m.

Les chiffres du tableau ne sont pas les mêmes pour les deux côtés du piston ; les différences sont d'autant moindres que la barre d'excentrique et surtout la bielle motrice sont plus longues. Il résulte de ces différences que le travail de la vapeur n'est pas identique sur les deux faces du piston.

Quand la manivelle motrice tourne d'un angle $M_1 OM$ à partir de son point mort arrière (fig. 149), le chemin parcouru par le piston est moindre que lorsque la manivelle décrit un angle égal à partir de son point mort avant ; on le voit aisément en appliquant pour le piston le même tracé que pour le tiroir, à l'aide d'une équerre dont le petit côté est taillé en arc de cercle avec un rayon convenable.

Les diagrammes d'indicateur, relevés des deux côtés du piston, en montrent le parcours pendant les diverses phases de la distribution (fig. 153).

85. Marche arrière. — La distribution étudiée dans le paragraphe précédent peut convenir aux machines fixes qui tournent toujours dans le même sens ; mais la locomotive doit fonctionner dans les deux sens, avoir une marche *arrière* aussi bien qu'une marche *avant*. On voit immédiatement qu'il serait facile de construire deux machines distinctes, dont l'une tournerait en avant, l'autre en arrière. La première ayant le rayon de l'excentrique en OT (fig. 154), il suffirait de prendre pour rayon de l'excentrique de la seconde OT' , symétrique de OT par rapport à l'axe dirigé suivant OM_1 , position commune de la manivelle : en refaisant les tracés, on retrouve dans les deux cas, pour les diverses phases de la distribution, des parcours égaux de la manivelle ; seulement les uns sont faits dans le sens de la flèche marquée AV , et les autres en sens contraire, suivant la flèche AR .

Les deux excentriques, ayant pour rayons OT et OT' , sont calés sur un arbre unique ; si on peut relier à volonté la tige du tiroir avec

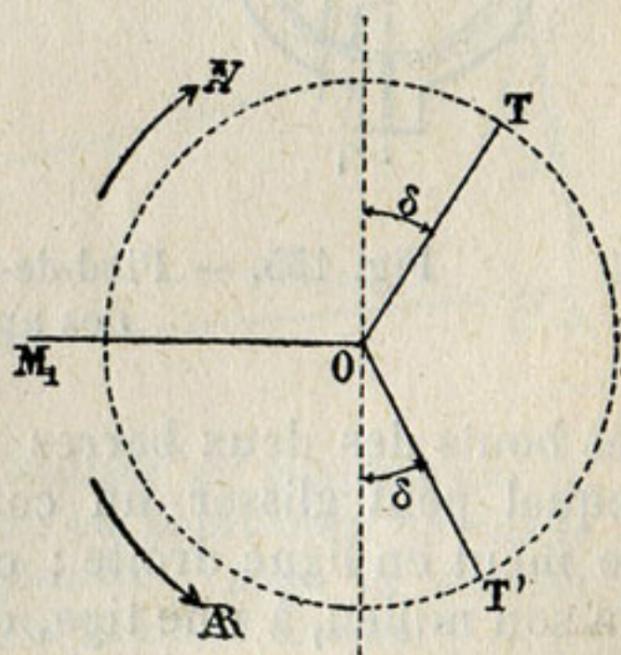


Fig. 154. — Excentriques pour marches avant et arrière.

une barre d'excentrique articulée sur T ou avec une seconde barre articulée sur T', on obtient les distributions convenables pour les deux sens de marche.

C'est ce qu'on a réalisé dans les premières locomotives, à l'aide d'un mécanisme dit *pied-de-biche* (fig. 155). Les extrémités des barres d'excentrique étaient reliées au levier de l'arbre de relevage par deux tiges de suspension, qui se recouvrent sur la figure 155.

86. Coulisse de Stephenson. — Stephenson a perfectionné la locomotive en substituant la *coulisse* à la ferraille des pieds-de-biche. L'essieu porte encore les deux excentriques, chacun avec sa barre ;

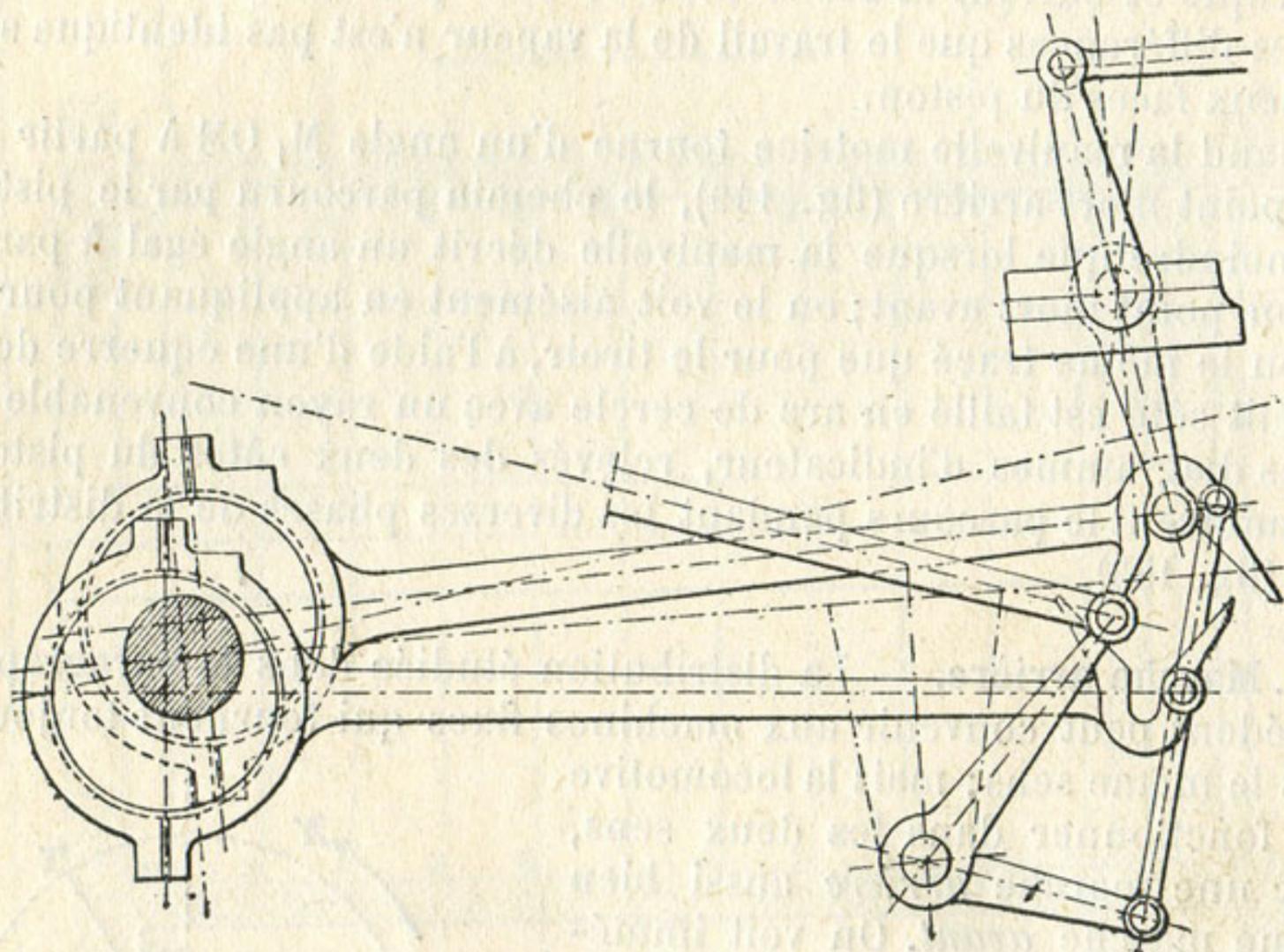


Fig. 155. — Pied-de-biche, pour changement de marche des anciennes locomotives.

les bouts des deux barres sont reliés par un guide (fig. 156), dans lequel peut glisser un coulisseau fixé sur la tige du tiroir, qui se meut en ligne droite ; ce guide, appelé coulisse, est suspendu, en son milieu, à une tige, qui s'articule à l'extrémité d'un levier de l'arbre de relevage. L'arbre de relevage étant fixé dans une position telle que le coulisseau se trouve à l'extrémité supérieure de la coulisse, au point où s'articule une des barres, le tiroir est conduit par cette barre. En manœuvrant l'arbre de manière à relever la coulisse, on fait conduire le coulisseau par son extrémité inférieure, c'est-à-dire par l'autre barre d'excentrique. On passe ainsi d'une des marches à l'autre sans disjoindre aucune articulation, sans choc.

On s'est bientôt aperçu que la coulisse n'était pas seulement un appareil de changement de marche. Au lieu de placer l'arbre de

relevage dans les positions extrêmes, où l'une des barres conduit la tige du tiroir, qu'on le fixe de telle sorte que le coulisseau se trouve en un point intermédiaire de la coulisse (fig. 157) ; le tiroir se meut suivant une loi précise. On a reconnu que, pour chaque position de l'arbre de relevage, le mouvement du tiroir était, à peu de chose près, celui que lui donnerait un certain excentrique, d'angle de calage et de rayon déterminés. C'est ce qu'on appelle l'*excentrique fictif* du tiroir, excentrique qui, s'il était construit, remplacerait le mécanisme de la coulisse, mais seulement pour la position correspondante de l'arbre de relevage.

On trace facilement les divers excentriques fictifs, qui pourraient ainsi se substituer à une coulisse : quand la manivelle est à son point mort OM_1 (fig. 158), tous leurs centres se trouvent sur un arc de cercle de grand rayon joignant les centres T et T' des deux excentriques ; et si la position de l'arbre de relevage est telle que le point A de la coulisse saisisse le coulisseau, le centre G de l'excentrique fictif divise l'arc TT' comme le point A divise la coulisse CC' .

On sait tracer la distribution que donne un excentrique quelconque OG . En faisant ce tracé, on reconnaît que cette distribution diffère de celle donnée par OT : la période d'admission est plus courte ; celles d'échappement anticipé et de compression sont plus longues ; ces différences sont d'autant plus grandes que le point G se rapproche davantage du milieu H_0 de TT' ; en d'autres termes, elles s'accroissent à mesure

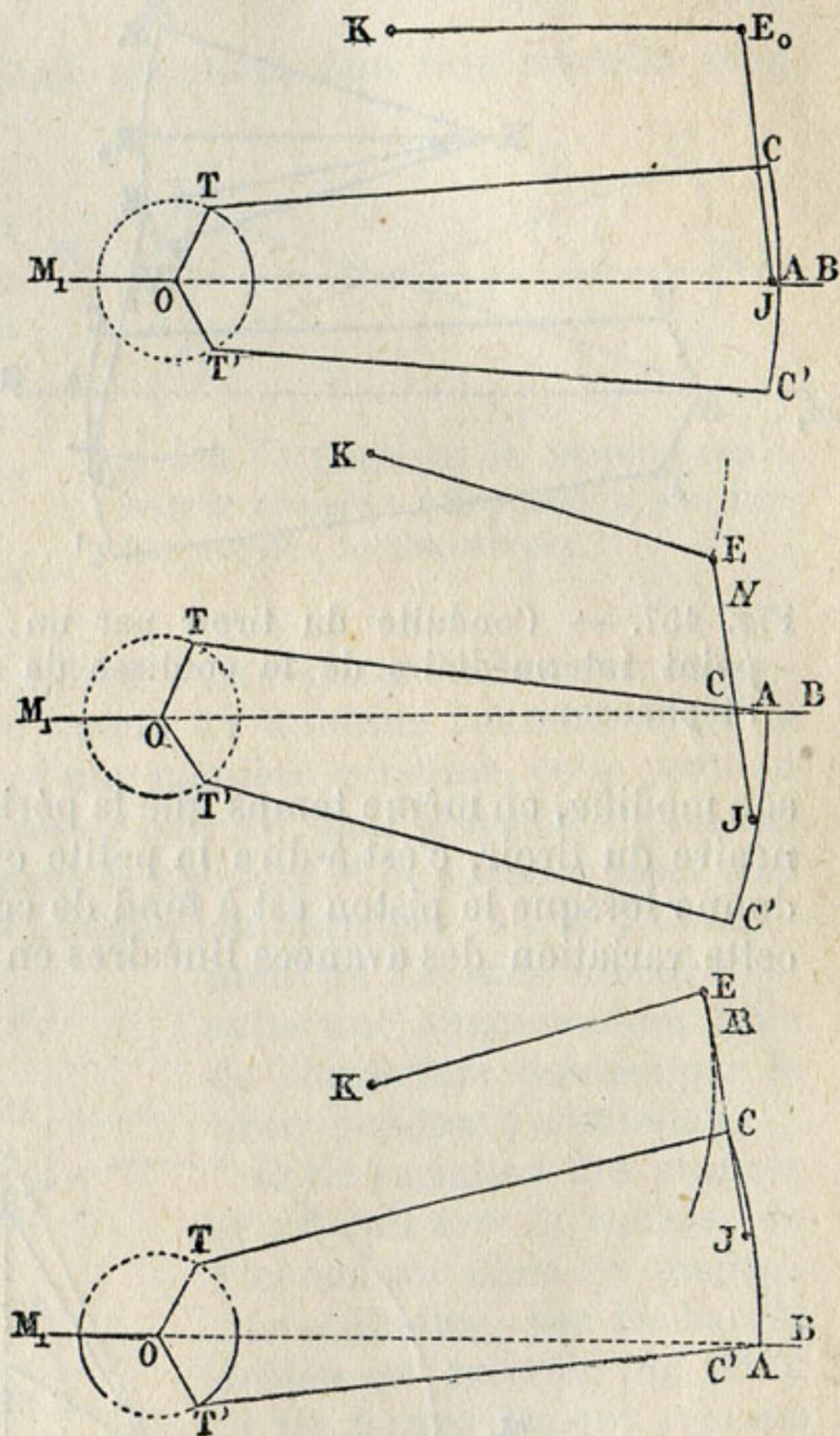


Fig. 156. — Coulisse de Stephenson (à barres droites), au point mort du changement de marche ; pour la marche avant ; pour la marche arrière.

OT, OT' , rayons des excentriques ; $TC, T'C'$, barres d'excentriques ; CC' , coulisse ; EJ , bielle de suspension ; K , arbre de relevage.

que le rayon de l'excentrique fictif diminue et que son angle d'avance augmente.

La coulisse permet ainsi d'obtenir des distributions avec admis-

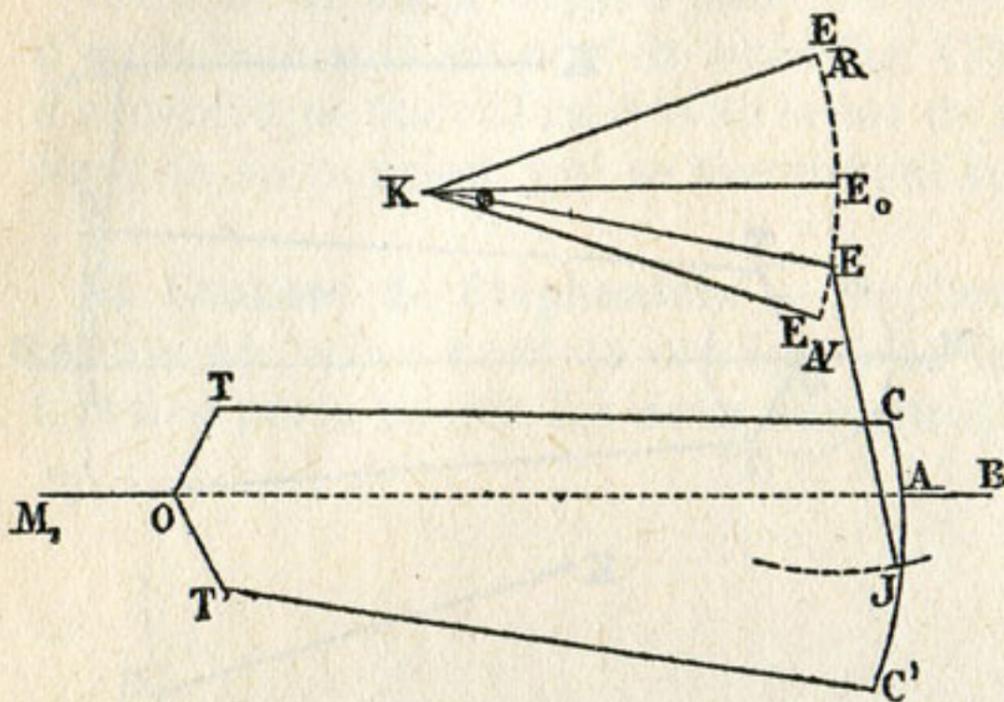


Fig. 157. — Conduite du tiroir par un point intermédiaire de la coulisse de Stephenson.

sion variable : la quantité de vapeur admise dans le cylindre diminue à mesure que le point G s'éloigne de T et la longueur de chacune des trois périodes de détente, d'échappement anticipé et de compression augmente.

Pour l'autre sens de marche, la coulisse donne des distributions variables de même, quand le centre de l'excentrique fictif passe de T' à H₀.

La coulisse de Stephenson modifie, en même temps que la période d'admission, l'avance linéaire du tiroir, c'est-à-dire la petite ouverture de la lumière qu'il donne lorsque le piston est à fond de course. On se rend compte de cette variation des avances linéaires en examinant le tiroir lorsque

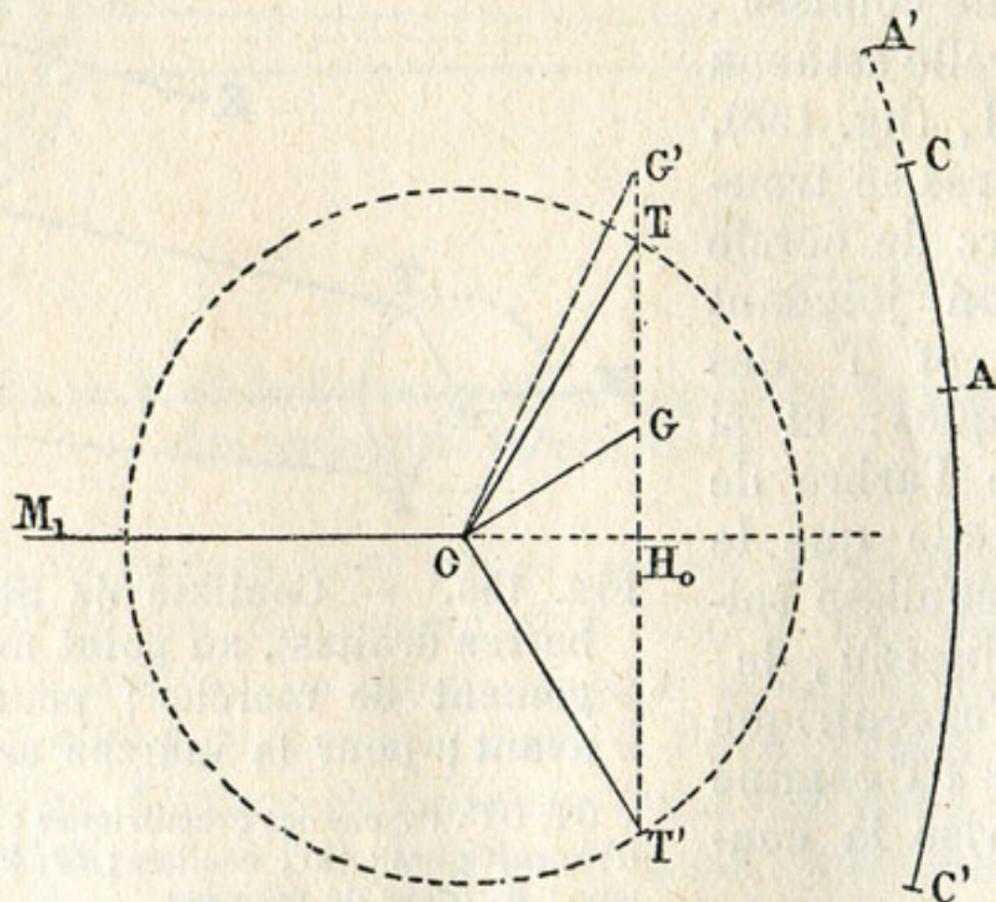


Fig. 158. — Centres des excentriques fictifs de la coulisse de Stephenson.

le plateau de la boîte à vapeur est démonté ; il suffit de placer la machine dans une position telle que le piston soit à fond de course et la manivelle motrice à un de ses points morts. En manœuvrant alors l'arbre de relevage au moyen de l'appareil de changement de

marche, on voit le tiroir se déplacer légèrement sur la table et augmenter l'ouverture de la lumière ou avance, à mesure que l'index du changement de marche se rapproche du zéro de la réglette, c'est-à-dire à mesure que le coulisseau est plus voisin du milieu de la coulisse.

On verrait à peu près la même variation, dans une machine bien réglée, sur l'autre bout du tiroir, en amenant la manivelle motrice à son autre point mort. Il faut pour cela que le rayon de la coulisse, ou rayon du cercle auquel on peut la supposer géométriquement réduite, soit égal à la longueur des barres d'excentriques.

Cette augmentation des avances linéaires, qui se produit quand on rapproche du milieu de la réglette l'index du changement de marche, c'est-à-dire quand on diminue l'admission de la vapeur, est avantageuse, car, d'une manière générale, cette position correspond aux grandes vitesses de marche, pour lesquelles la vapeur n'a guère le temps d'entrer dans le cylindre et de venir opposer une résistance au piston pendant l'admission anticipée ; et de l'allongement de l'avance linéaire résulte une augmentation utile de l'ouverture donnée par le tiroir pendant l'admission.

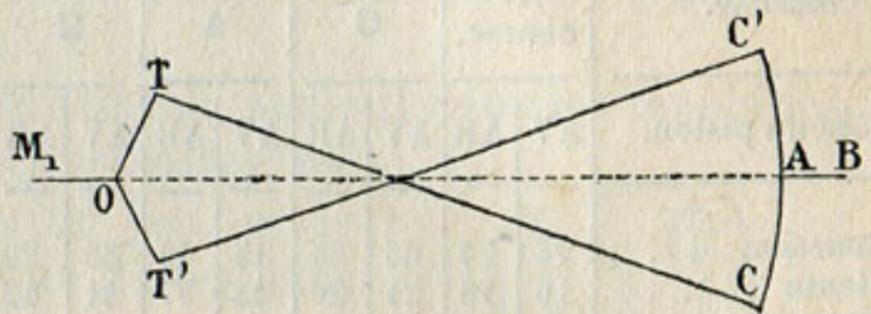


Fig. 159. — Coulisse de Stephenson à barres croisées (disposition peu usitée sur les locomotives).

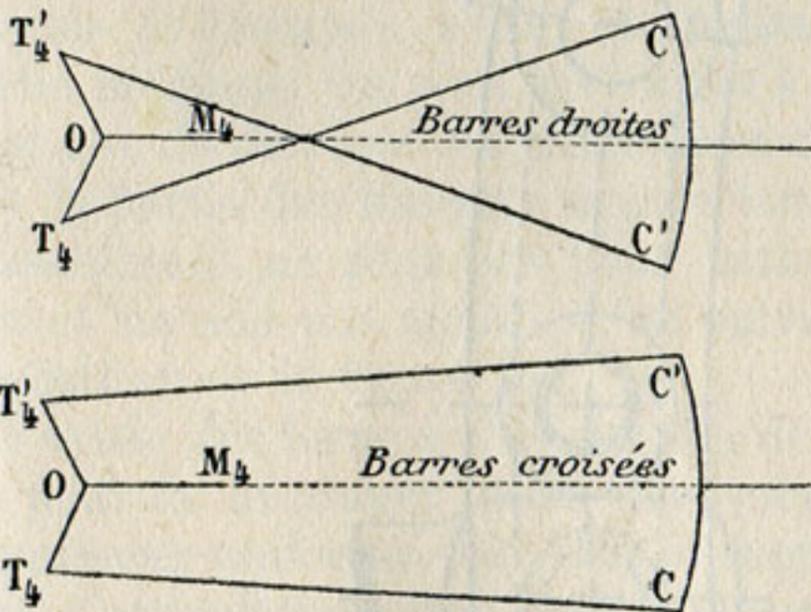


Fig. 160. — Coulisse de Stephenson, avec barres droites et barres croisées, après un demi-tour de l'essieu, quand le piston est au fond de course avant.

la marche au point mort de la réglette.

La désignation de barres droites et croisées ne correspond qu'à la position des figures : quand la machine a fait un demi-tour, les barres droites se croisent et les barres croisées se décroisent (fig. 160).

Le tableau ci-après donne, en centièmes de sa course, le parcours du piston pendant chaque phase de la distribution, aux divers crans

ment de l'avance linéaire résulte une augmentation utile de l'ouverture donnée par le tiroir pendant l'admission.

Cette variation des avances se produit avec la coulisse de Stephenson dans sa disposition ordinaire, avec des barres droites ou ouvertes (fig. 156). Si les barres étaient croisées on fermées (fig. 159), disposition rarement usitée pour les locomotives, la variation aurait lieu en sens inverse, et on pourrait n'avoir ni avance linéaire, ni par suite aucune ouverture de la lumière, dans

de marche, pour les machines-tenders n^{os} 613-728 des chemins de fer de l'Est :

Position de l'index du changement de marche.	MARCHE AVANT										MARCHE ARRIÈRE							
	Fond de course.		Cran 6		Cran 4		Cran 2		Point mort.		Cran 2		Cran 4		Cran 6		Fond de course.	
Côté du piston.	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR	AV	AR
Admission.	78	74	65	60	45	40	25	20	12	12	21	20	43	40	66	60	78	74
Détente	16	18	24	26	35	37	41	42	44	41	45	41	38	36	24	26	16	18
Echappement anticipé.	6	8	11	14	20	23	34	38	44	47	34	39	19	24	10	14	6	8
Echappement.	91	93	85	87	74	77	58	63	40	53	58	63	73	78	84	88	91	93
Compression.	9	7	14	12	24	21	36	32	30	38	34	32	24	20	15	11	9	7
Admission anticipée.	0	0	1	1	2	2	6	5	12	9	8	5	3	2	1	1	0	0

On voit dans ce tableau d'assez fortes inégalités des phases de la

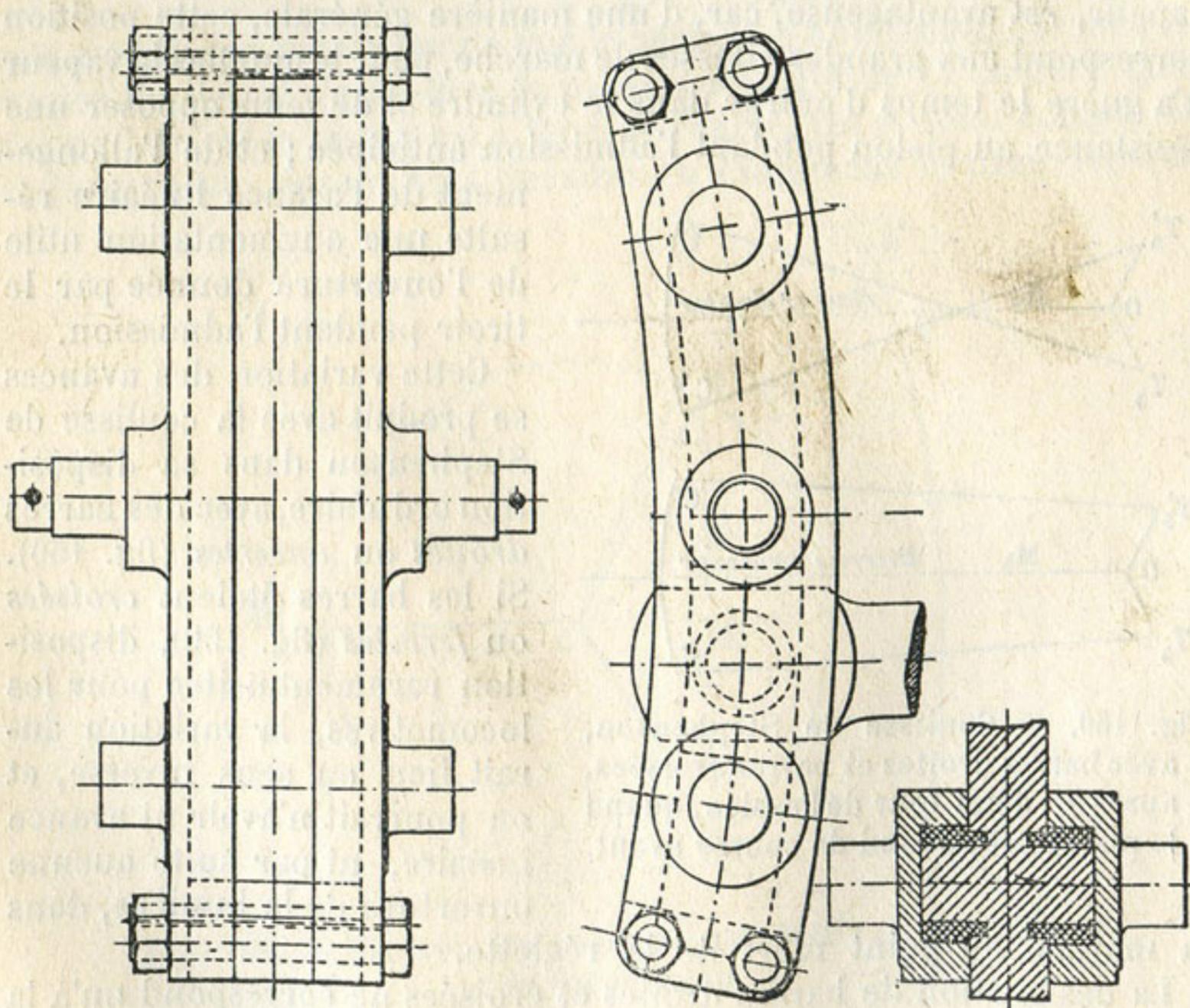


Fig. 161. — Coulisse de Stephenson à flasques ; élévations, transversale et longitudinale ; coupe par un plan horizontal.

distribution pour les deux faces du piston. En traçant les mécanismes,

on tâche d'atténuer ces inégalités, surtout pour la marche avec admissions de 20 à 40 p. 100.

La coulisse est souvent composée de deux flasques, réunies à leurs extrémités par des boulons, qui les serrent contre une entretoise. Les flasques portent, sur leur face extérieure, des tourillons venus de forge, sur lesquels s'articulent les fourches des barres d'excentrique et les bielles de suspension. Toutes ces articulations sont cémentées et trempées (fig. 161).

Il faut surveiller de près ce mécanisme, surtout dans les machines neuves : si les pièces sont bien construites, les articulations n'ont que fort peu de jeu, et le moindre défaut de graissage risque de les faire gripper.

Un coulisseau en fer cémenté et trempé joue à l'intérieur de chacune des deux flasques ; les deux coulisseaux sont articulés sur l'extrémité de la tige du tiroir, qui est maintenue en ligne droite par un guide carré, ou parfois suspendue à une articulation fixe (fig. 107) : le coulisseau ne se meut plus alors rigoureusement en ligne droite ; le mouvement du tiroir n'en est guère modifié.

Il est facile de remplacer les coulisseaux usés, mais la coulisse elle-même, bien que cémentée et trempée, s'use, et surtout dans sa partie médiane. On peut la rectifier à la meule ; il est bon de disposer les entretoises de manière que la partie des flasques contre laquelle elles s'assemblent ne gêne pas pour cette rectification et ne soit pas modifiée, en suivant la disposition de la figure 162.

Il existe des formes plus simples de coulisse : on peut la découper dans une pièce unique d'épaisseur uniforme (fig. 163) et rapporter des axes d'articulation aux deux extrémités. Elle n'est plus alors suspendue par le milieu, et la bielle de suspension s'articule à l'une des extrémités, soit sur le même axe que la barre d'excentrique, soit sur un axe spécial. Avec cette disposition, la course du coulisseau est réduite et on ne peut pas le faire conduire par les extrémités mêmes de la coulisse, c'est-à-dire uniquement par une des barres d'excentrique : la plus grande admission qu'on obtient, en mettant le changement de marche à fond de course, s'en trouve réduite.

Pour éviter cet inconvénient, on construit des coulisses découpées de même dans une pièce unique, mais en reportant la rainure qui



Fig. 162. — Flasque de coulisse de Stephenson montrant l'entrée sur laquelle se monte l'entretoise, de manière à permettre la rectification de la coulisse à la meule, sans changer les entretoises.

saisit le coulisseau en avant des trous qui reçoivent les axes d'articulation (fig. 164).

87. Manœuvre de l'arbre de relevage. — Le mécanisme, qui permet de manœuvrer l'arbre de relevage et de le fixer dans chacune de

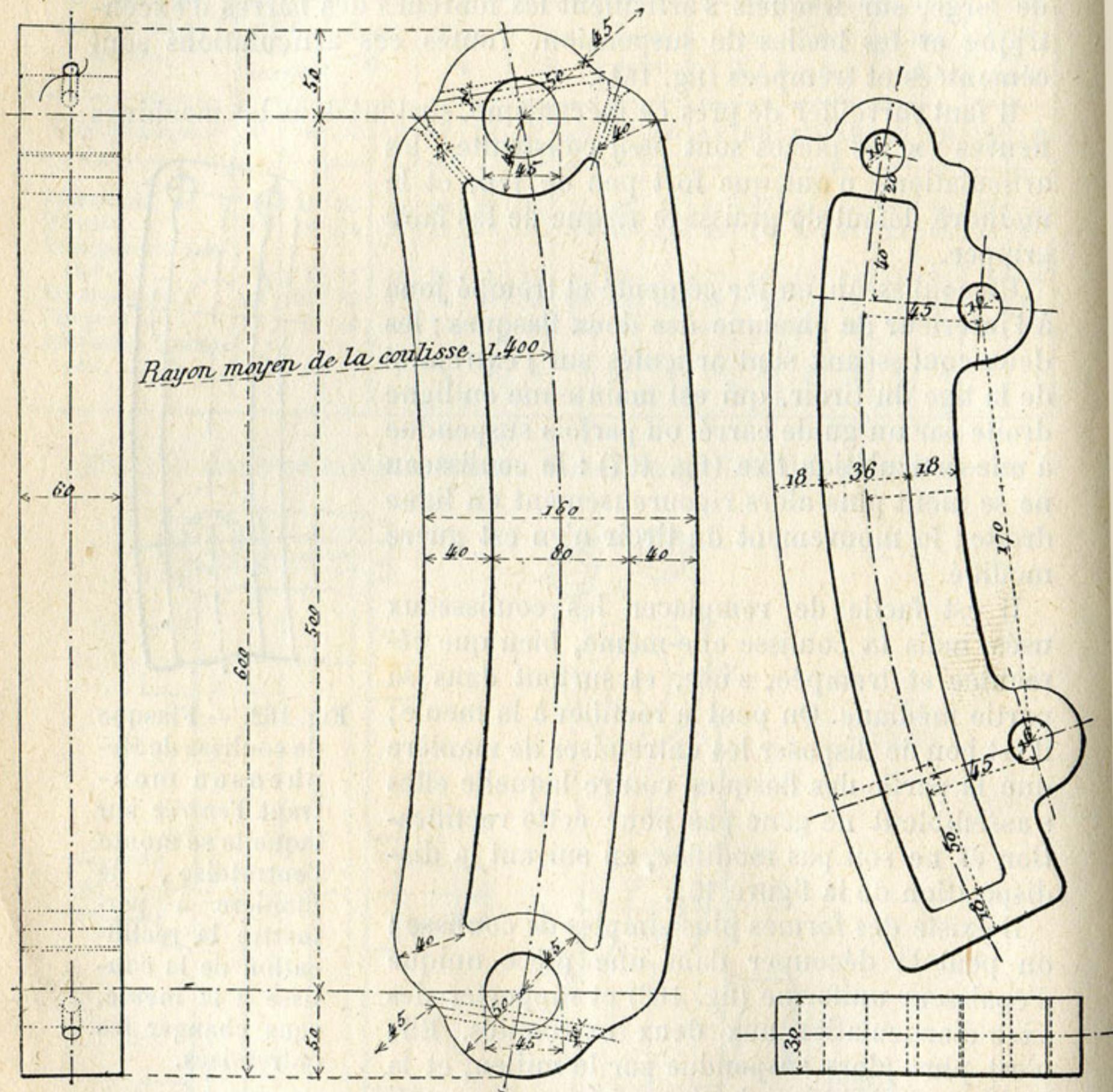


Fig. 163. — Coulisse de Stephenson découpée dans une pièce unique.

Fig. 164. — Coulisse de Stephenson découpée dans une pièce unique, avec articulations déportées.

ses positions, était autrefois et est parfois encore, mais rarement en France, un levier de changement de marche (fig. 165), maintenu par un verrou à ressort, engagé dans un cran d'un arc de cercle denté. On préfère généralement aujourd'hui commander l'arbre de relevage par une vis de changement de marche (fig. 166), munie d'un

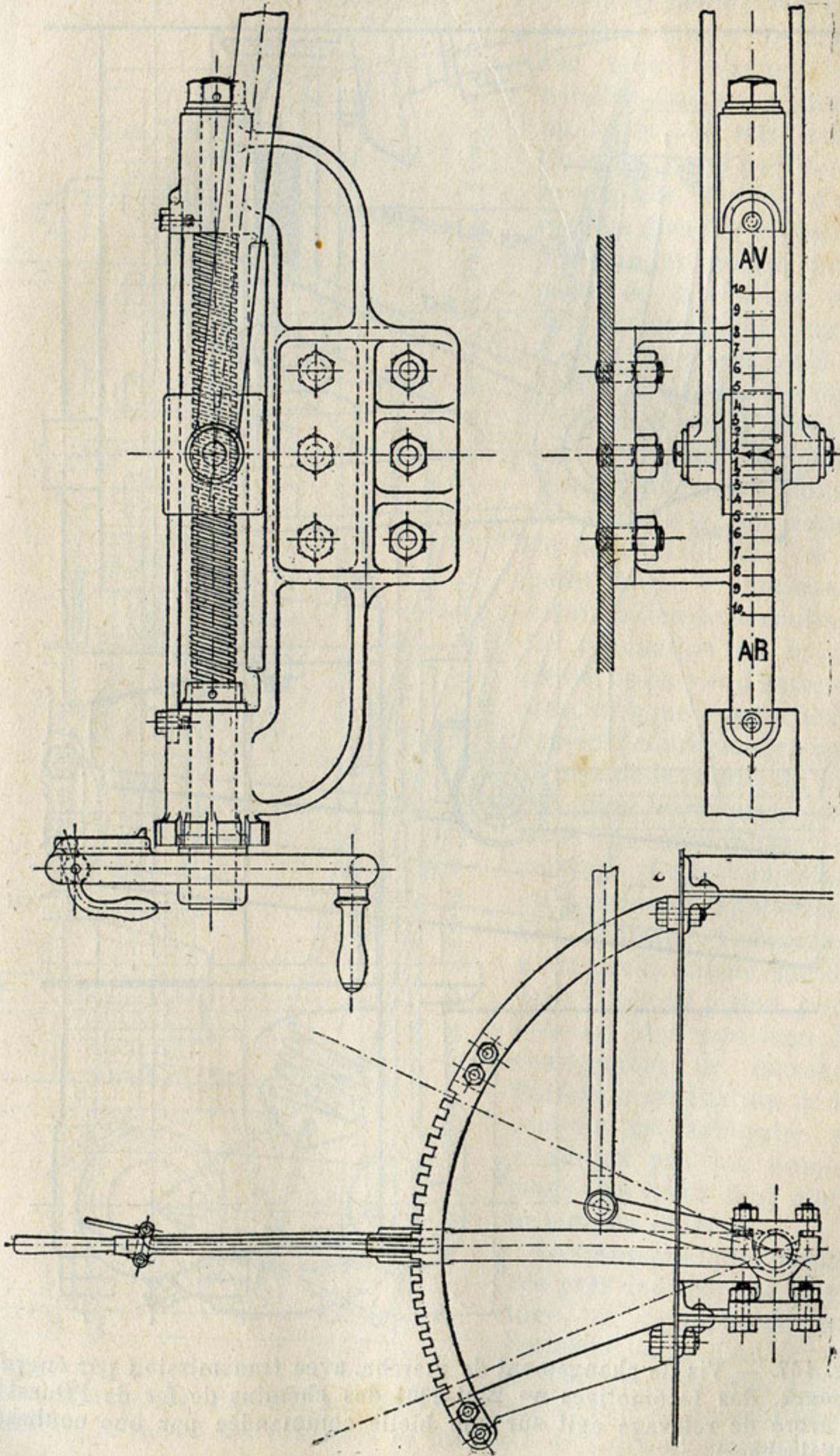


Fig. 165. — Levier de changement de marche.

Fig. 166. — Vis de changement de marche; élévation et plan.

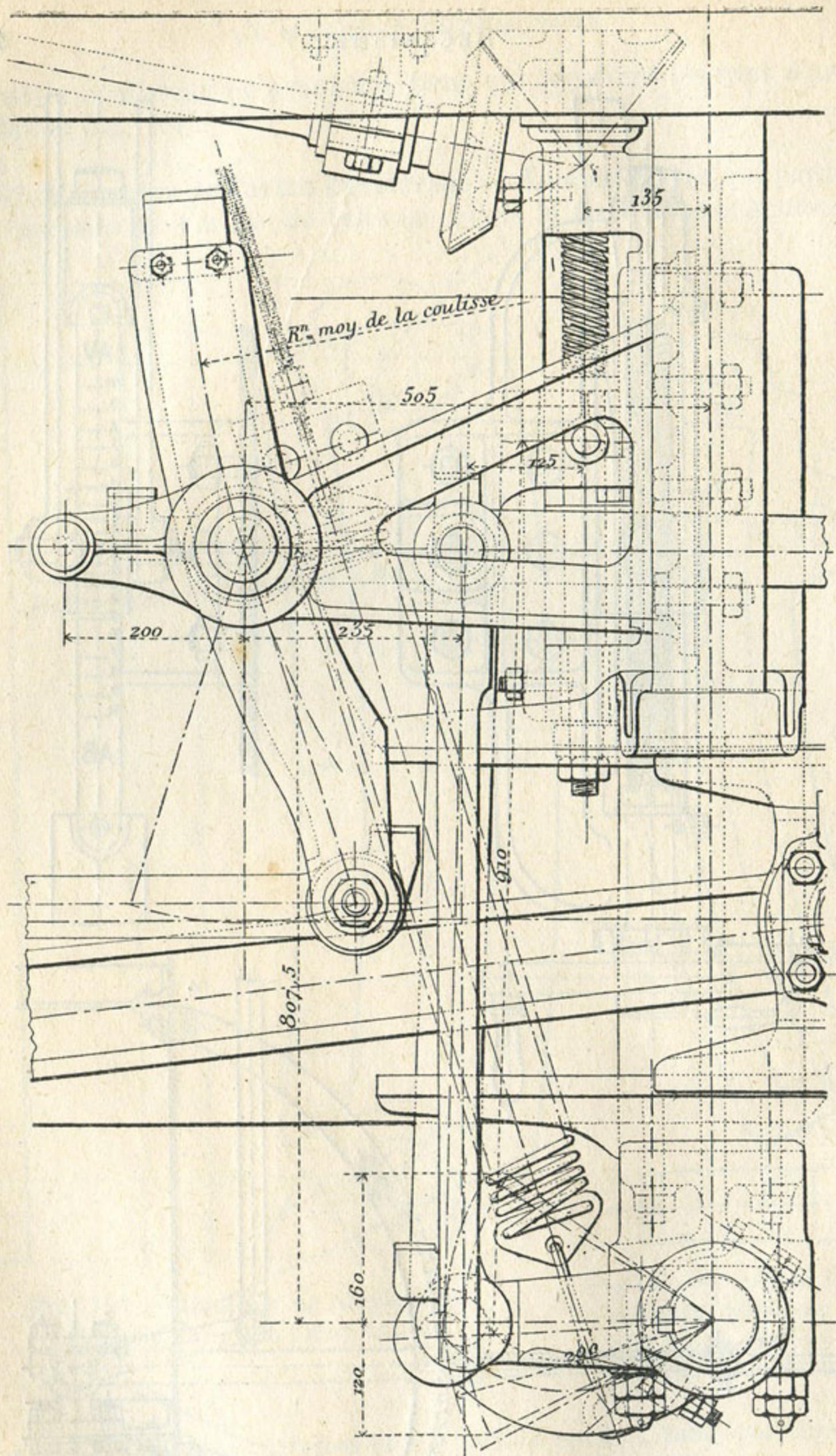


Fig. 167. — Vis de changement de marche, avec transmission par engrenages, des locomotives nos 2301-2304 des chemins de fer de l'Ouest; l'arbre de relevage agit sur une bielle commandée par une coulisse Walschaert.

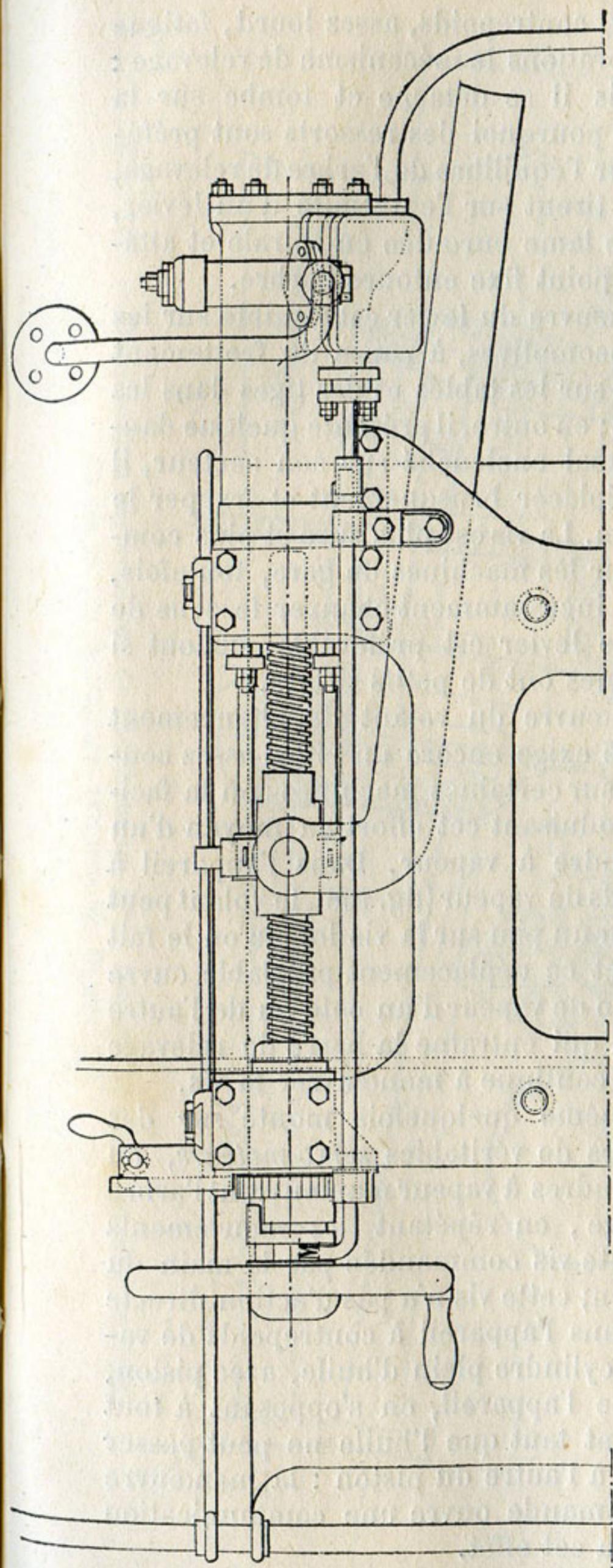


Fig. 168. — Changement de marche à contrepoids de vapeur, des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

volant de manœuvre : cette vis fait voyager un écrou, sur lequel s'adapte une tringle, qui va rejoindre un levier calé sur l'arbre. Un index, porté par l'écrou, se déplace le long d'une réglette divisée : la position de cet index indique quelle partie de la coulisse conduit le coulisseau ; quand il est à l'un de ses fonds de course, c'est l'une des deux extrémités de la coulisse qui saisit le coulisseau. Quand l'index est au milieu de la réglette, en regard du zéro, on dit qu'il est au point mort : le coulisseau est au milieu de la coulisse. La graduation de la réglette, de part et d'autre du zéro, indique approximativement l'admission, en centièmes de la course du piston, pour les diverses positions du mécanisme de relevage. Cette indication est forcément approximative, puisque l'admission n'est pas la même sur les deux côtés du piston, pour chacune des positions de changement de marche. Parfois la graduation de la réglette est arbitraire et n'indique pas les admissions : les traits sont alors de simples repères.

La vis est quelquefois placée près de l'arbre de relevage, et commandée par l'intermédiaire d'un arbre et d'engrenages (fig. 167).

Un contrepoids, fixé sur un levier spécial de l'arbre de relevage, équilibre le poids des coulisses et du reste de l'attirail suspendu à

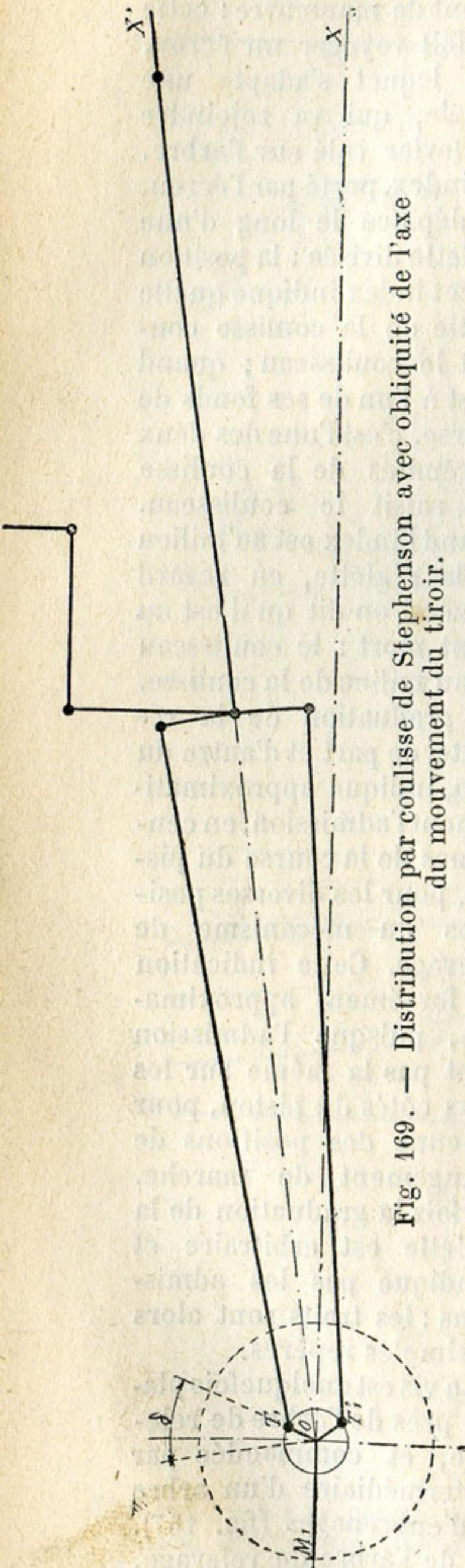


Fig. 169. — Distribution par coulisse de Stephenson avec obliquité de l'axe du mouvement du tiroir.

l'arbre. Ce contrepoids, assez lourd, fatigue par ses vibrations le mécanisme de relevage : quelquefois il se détache et tombe sur la voie. C'est pourquoi des ressorts sont préférables pour l'équilibre de l'arbre de relevage, soit qu'ils tirent sur l'extrémité d'un levier, soit qu'une lame enroulée en spirale et attachée à un point fixe entoure l'arbre.

La manœuvre du levier est pénible sur les grandes locomotives, à cause du frottement des tiroirs sur les tables et des tiges dans les garnitures ; en outre, il présente quelque danger, car, mal enclenché sur son secteur, il peut se déplacer brusquement et frapper le mécanicien. La vis est plus sûre et plus commode. Pour les machines de gare, toutefois, où il faut incessamment changer le sens de marche, le levier est préférable, surtout si ces machines ont de petits tiroirs.

La manœuvre du volant du changement de marche exige encore un effort assez considérable sur certaines machines : on la facilite en produisant cet effort au moyen d'un petit cylindre à vapeur. Dans l'appareil à contrepoids de vapeur (fig. 168), le volant peut se déplacer un peu sur la vis lorsqu'on le fait tourner, et ce déplacement préalable ouvre l'admission de vapeur d'un côté ou de l'autre du piston, qui entraîne la barre de relevage quand on continue à manœuvrer la vis.

On a même quelquefois monté sur des locomotives de véritables *servo-moteurs*, ou petits cylindres à vapeur manœuvrant l'arbre de relevage, en répétant les mouvements d'une petite vis commandée par la main du mécanicien ; cette vis n'a pas d'action directe comme dans l'appareil à contrepoids de vapeur. Un cylindre plein d'huile, avec piston, immobilise l'appareil, en s'opposant à tout mouvement tant que l'huile ne peut passer d'un côté à l'autre du piston : la manœuvre de la commande ouvre une communication ménagée à cet effet.

Ces derniers appareils sont compliqués, sujets à avaries ; ils entraînent des dépenses d'entretien assez fortes, sans être bien jus-

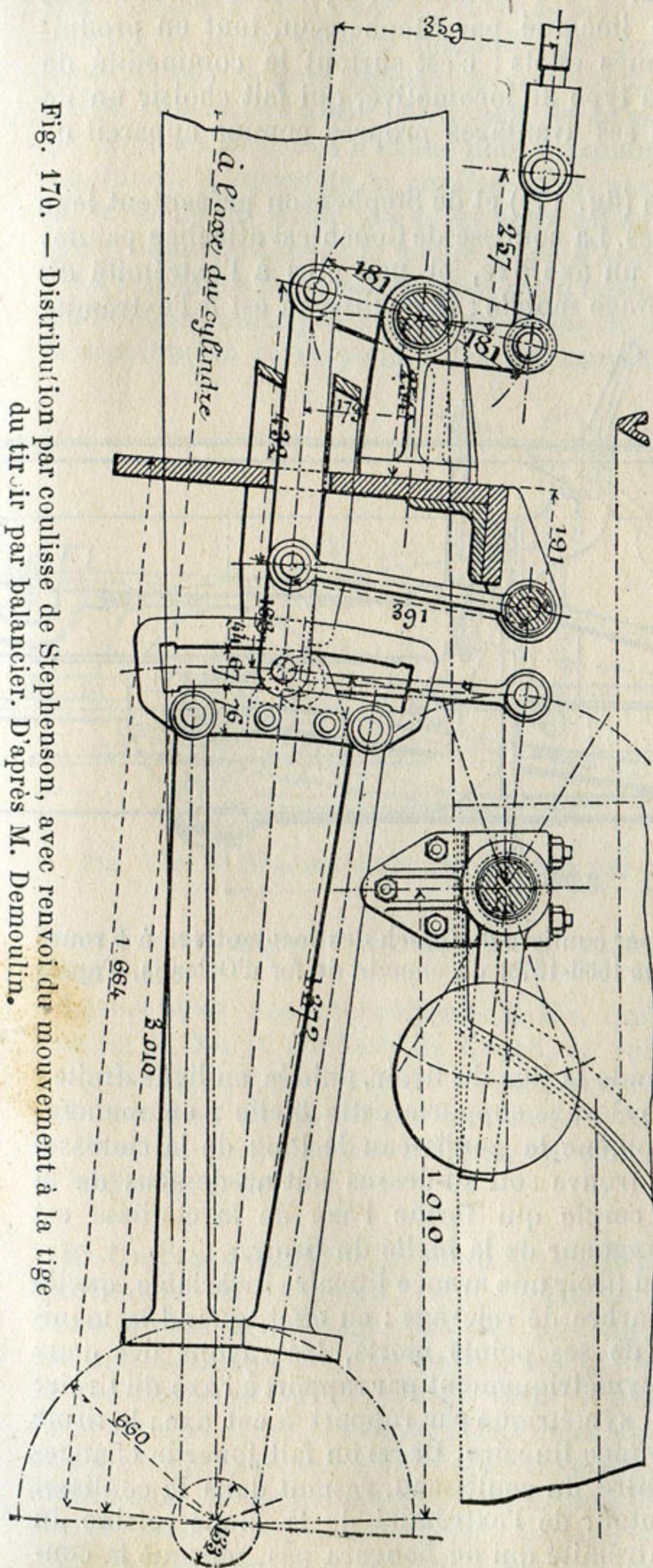


Fig. 170. — Distribution par coulisse de Stephenson, avec renvoi du mouvement à la tige du tiroir par balancier. D'après M. Demoulin.

tifiés par la grandeur des efforts à produire. Aussi sont-ils rarement employés sur les locomotives.

88. Commande du tiroir par tige oblique et par balancier. — Les tiroirs ne se meuvent pas tous parallèlement à l'axe du cylindre. Avec une direction oblique du mouvement (fig. 169), le tiroir trouve sa place au-dessus du cylindre. Il se meut alors suivant OX' , mais la loi du mouvement doit rester la même qu'avec OX' parallèle à OX , axe du cylindre. Quand la manivelle motrice est à son point mort, en OM_1 , les rayons des excentriques, OT_1 et OT'_1 , doivent être symétriques par rapport à OX' , et la véritable avance angulaire se compte à partir de la perpendiculaire à OX' .

Parfois, un balancier de renvoi (fig. 170) communique le mouvement au tiroir : les excentriques sont alors calés à l'opposé (ou à 180°) de leur position normale.

89. Coulisse de Gooch. — De nombreux systèmes de coulisses diffèrent du mécanisme imaginé par Stephenson, tout en produisant à peu près les mêmes effets : c'est surtout la commodité de l'application, sur chaque type de locomotive, qui fait choisir un de ces systèmes, plus que ses avantages propres comme appareil de distribution.

Les coulisses de Gooch (fig. 171) et de Stephenson présentent leur courbure en sens inverses. La coulisse de Gooch est attachée par des bielles de suspension à un axe fixe, et non plus à l'extrémité du levier d'un arbre de relevage mobile ; le coulisseau est à l'extrémité

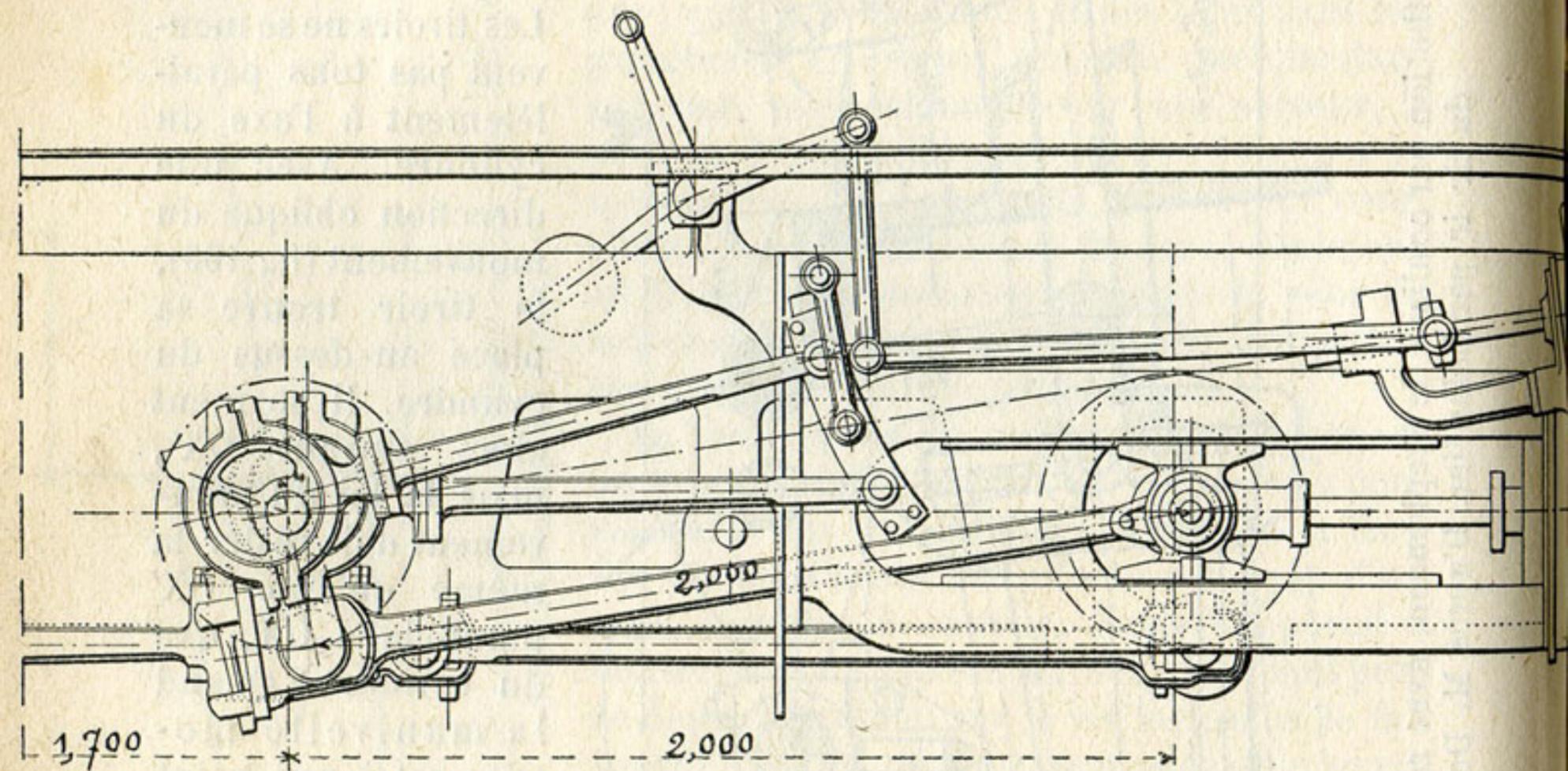


Fig. 171. — Distribution par coulisse de Gooch des locomotives à 6 roues couplées de 1,600 m (série 1566-1575) du chemin de fer d'Orléans, d'après M. Demoulin.

d'une bielle, qui commande la tige du tiroir, guidée en ligne droite ; le levier de l'arbre de relevage supporte cette bielle : en manœuvrant cet arbre, on promène le coulisseau le long de la coulisse. L'arbre de relevage se trouve soit au-dessus soit au-dessous de la coulisse. Le rayon du cercle qui forme l'axe de la coulisse est précisément égal à la longueur de la bielle du tiroir.

Cette coulisse donne au tiroir une avance linéaire invariable, quelle que soit la position de l'arbre de relevage : en effet, quand la manivelle motrice est à un de ses points morts, les rayons des deux excentriques se placent symétriquement par rapport à l'axe du tiroir ; la coulisse est également symétrique par rapport à cet axe ; le tiroir est dans la position d'avance linéaire. Or, si on fait jouer le changement de marche, le centre du coulisseau, restant dans la coulisse, va décrire un cercle autour de l'extrémité de la bielle voisine du tiroir comme centre, extrémité qui ne bougera pas, puisque la cou-

coulisse d'Allan, forment un arc de cercle, voisin de la ligne droite qui joint les centres des excentriques. Les avances linéaires aux divers crans de marche varient comme avec la coulisse de Stephenson, mais la variation est moindre.

Ce mécanisme est porté par un arbre de relevage unique, et les poids des pièces suspendues s'équilibrent à peu près.

91. Distribution Walschaert. — Le mécanisme de distribution de Walschaert (fig. 173 et 167) est commode lorsque les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres; il est généralement appliqué pour des cylindres extérieurs, mais parfois aussi pour des cylindres intérieurs. Ce mécanisme n'a qu'un excentrique, réduit à un simple bouton sur une contre-manivelle, quand il est à l'extérieur de la machine. Cet excentrique unique est calé à angle droit sur la manivelle motrice; il fait osciller une coulisse autour de tourillons fixés en son milieu. Une bielle, analogue à celle de la coulisse de Gooch, se termine par un coulisseau, qui se déplace dans la coulisse quand on manœuvre l'arbre de relevage: une bielle de suspension rattache cette bielle au levier calé sur l'arbre. L'autre extrémité de la bielle est articulée en A, non sur la tige du tiroir, mais sur un levier dont une extrémité, C, suit le mouvement de la tête du piston, et dont l'autre extrémité, B, entraîne la tige du tiroir, guidée en ligne droite.

Le rayon de la coulisse est égal à la longueur de la bielle; quand la manivelle motrice est à un point mort, le centre de la coulisse se trouve précisément au point A, extrémité de la bielle, de sorte qu'on peut promener le coulisseau le long de la coulisse en manœuvrant l'arbre de relevage, sans que le tiroir bouge: on a donc une avance linéaire constante.

Il est facile de tracer les épures qui représentent la distribution donnée aux différents crans de marche par le mécanisme Walschaert; la coulisse transmet au tiroir le mouvement de l'excentrique; elle en réduit plus ou moins l'amplitude, et en change le sens quand le coulisseau dépasse le milieu de la coulisse; avec ce premier mouvement se combine un déplacement donné par le levier C A B et opposé à celui du piston, réduit dans le rapport des deux bras du levier, AB et AC. Pour construire les excentriques fictifs qui conduiraient de même le tiroir, on prend OD et OD' égaux au rayon de l'excentrique convenablement réduit, de manière à tenir compte de la réduction de la course des extrémités de la coulisse; puis on prend OR égal au rayon de la manivelle, OM, réduit dans le rapport de AB à AC; OL et OL' étant les diagonales des rectangles construits avec OR, OD et OD', le centre de l'excentrique fictif se déplace sur LL' quand on manœuvre l'arbre de relevage.

Sur la figure 173, la bielle de suspension saisit la bielle du tiroir entre le coulisseau et l'extrémité A; souvent au contraire la bielle de rele-

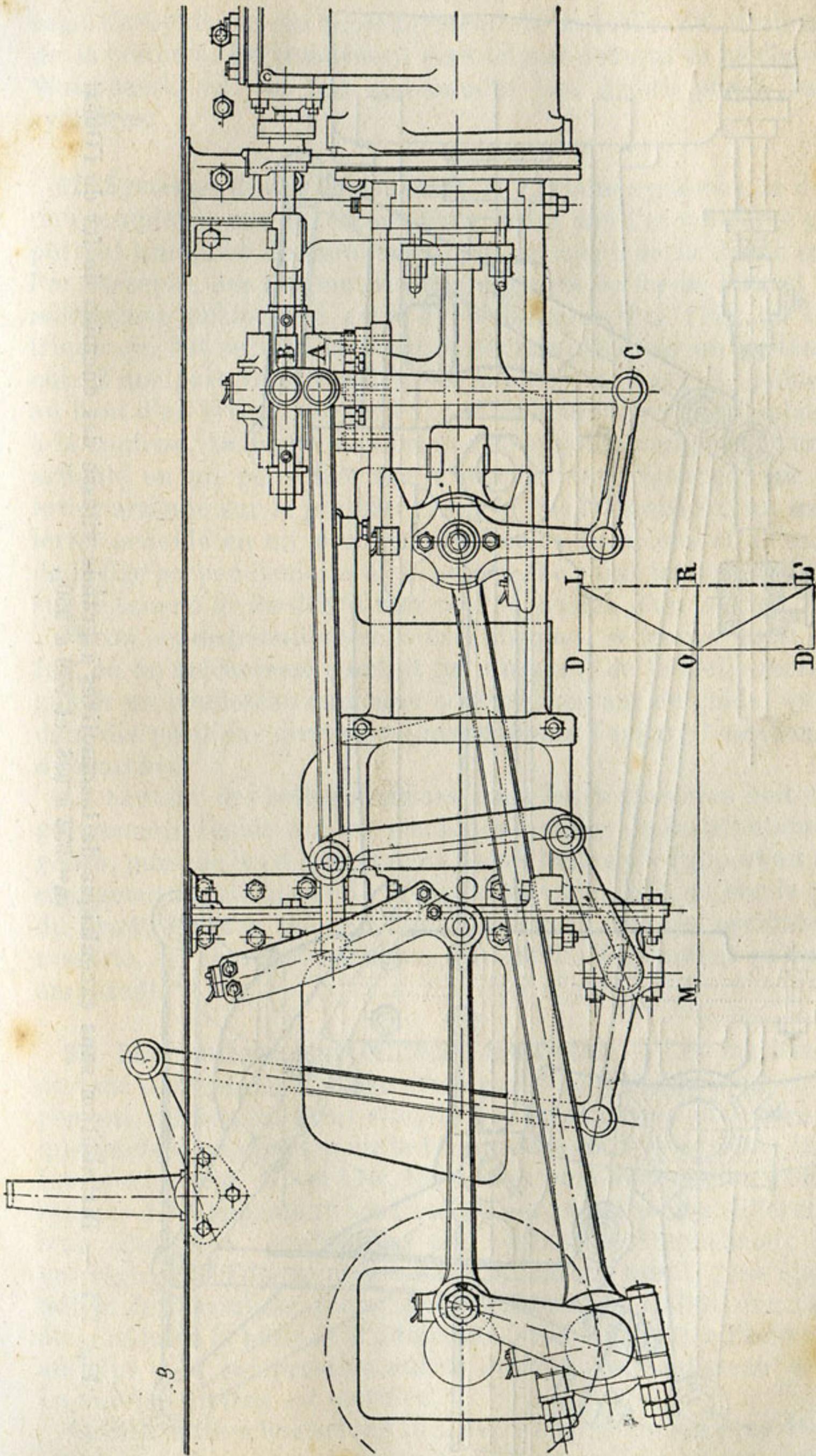


Fig. 173. — Distribution Walschaert de locomotives-tenders du chemin de fer du Nord. En dessous, excentriques fictifs de la distribution Walschaert.

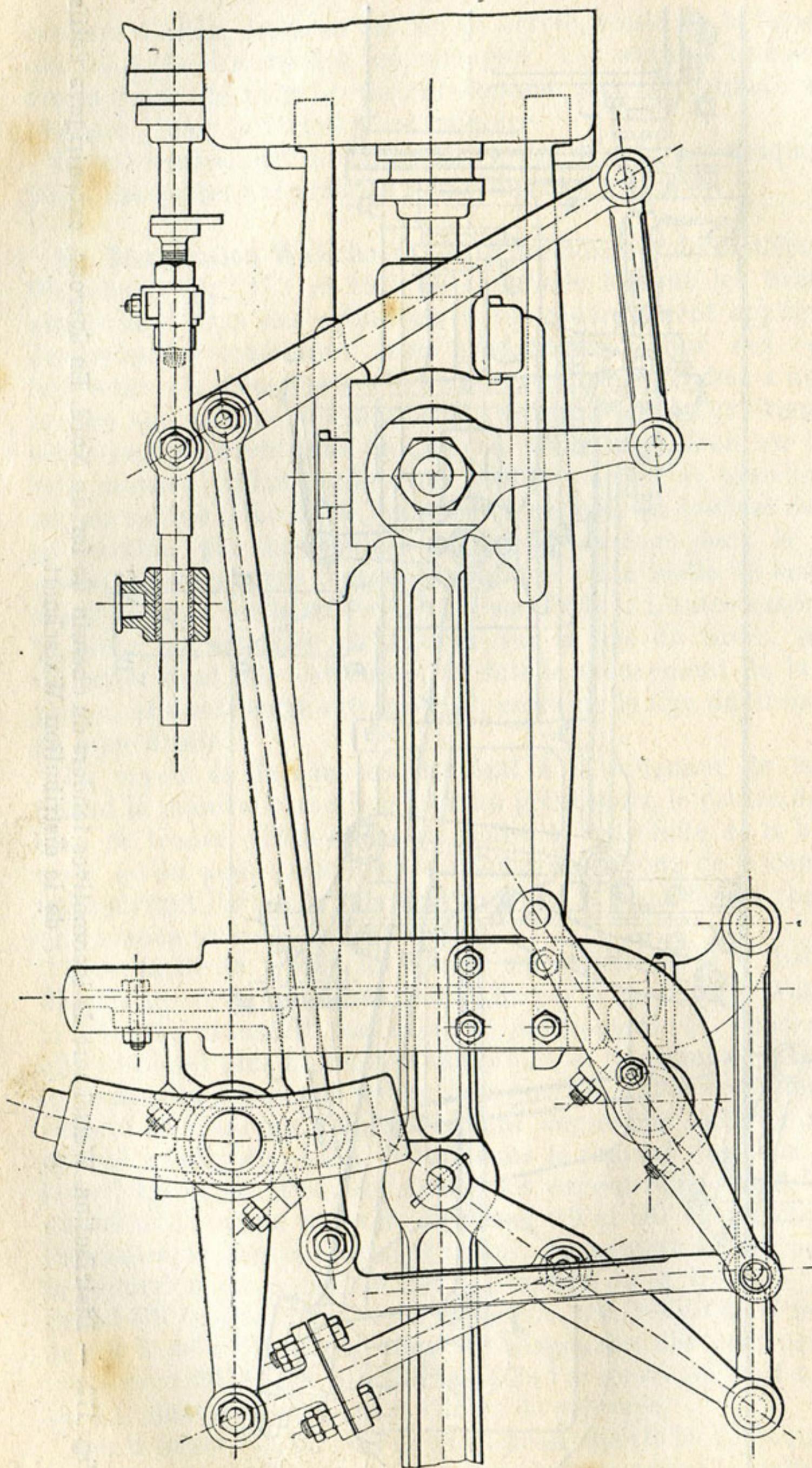


Fig. 174. — Distribution sans excentrique à grande vitesse des chemins de fer de l'Ouest
(nos 953 à 998, et 939 à 950).

vage s'articule sur un prolongement de la bielle du tiroir au delà de la coulisse. En retournant sens dessus dessous le mécanisme de Walschaert, on lui fait commander des tiroirs placés sous les cylindres.

92. Systèmes divers de coulisses. — Certains systèmes de distribution, employés sur des locomotives, n'ont pas d'excentrique et comportent une prise de mouvement sur le corps de la bielle motrice. Par exemple, des locomotives des chemins de fer de l'Ouest ont un mécanisme analogue à celui de Walschaert (fig. 174), où l'excentrique qui fait osciller la coulisse est remplacé par un système articulé d'une part vers le milieu de la bielle motrice, et, d'autre part, au bout d'un levier calé sur l'axe d'oscillation, perpendiculairement à la coulisse. La figure montre que ce système comprend : un levier articulé en un point fixe sur le support des glissières ; un second levier articulé sur le premier et sur la bielle motrice ; un troisième levier articulé en un point intermédiaire du second et à l'extrémité de la tige perpendiculaire à la coulisse. Le point intermédiaire choisi sur le second levier décrit une courbe voisine d'un cercle.

Parmi les distributions sans excentriques, se trouve aussi celle de Joy, où un mécanisme conduit par un point de la bielle motrice fait glisser un coulisseau dans une coulisse, servant de guide, qu'on fixe dans des positions diverses en manœuvrant l'appareil de changement de marche.

La hauteur des boîtes motrices dans leurs glissières doit être soigneusement réglée sur les machines munies de distributions de ce genre, puisque les déplacements de ces boîtes par rapport au châssis, changeant l'inclinaison de la bielle motrice, influent sur la position du tiroir. Pour la même raison il convient que les oscillations des ressorts, qui chargent ces boîtes, n'aient habituellement qu'une faible amplitude.

93. Distributions à obturateurs multiples. — Les machines fixes portent souvent des obturateurs séparés pour l'admission et l'échappement, au lieu du tiroir simple. Des mécanismes analogues ont été quelquefois employés pour la locomotive. Dans le système Durant et Lencachez (fig. 175 et 176), les obturateurs d'admission et les obturateurs d'échappement sont menés par deux points différents d'un long coulisseau, conduit par une coulisse de Stephenson ; le point qui règle l'échappement est, dans la marche avant, plus éloigné du milieu de la coulisse que celui qui commande l'admission : on peut ainsi réduire la période d'admission sans augmenter l'échappement anticipé et la compression autant qu'avec un coulisseau ordinaire. La marche arrière est sacrifiée.

La distribution Bonnefond (fig. 248) s'écarte encore plus des mécanismes usuels, car les obturateurs d'admission ne sont pas commandés

directement pendant toute leur course, mais se ferment brusquement sous l'action d'un piston pressé par la vapeur, quand un déclat les

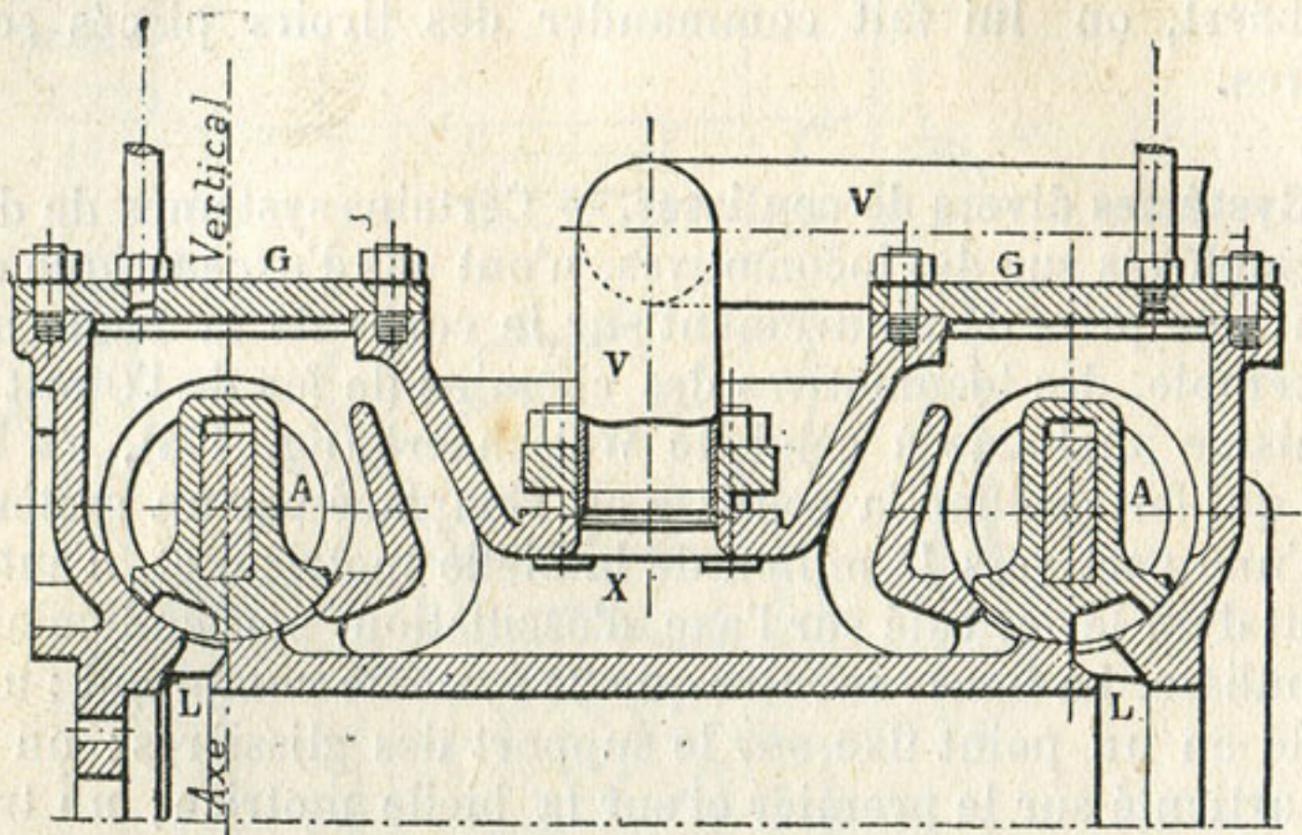


Fig. 175. — Distribution Durant et Lencachez, appliquée aux locomotives nos 833 et 834 des chemins de fer de l'Est. Coupe longitudinale du cylindre, montrant les obturateurs d'admission, à double introduction de vapeur.

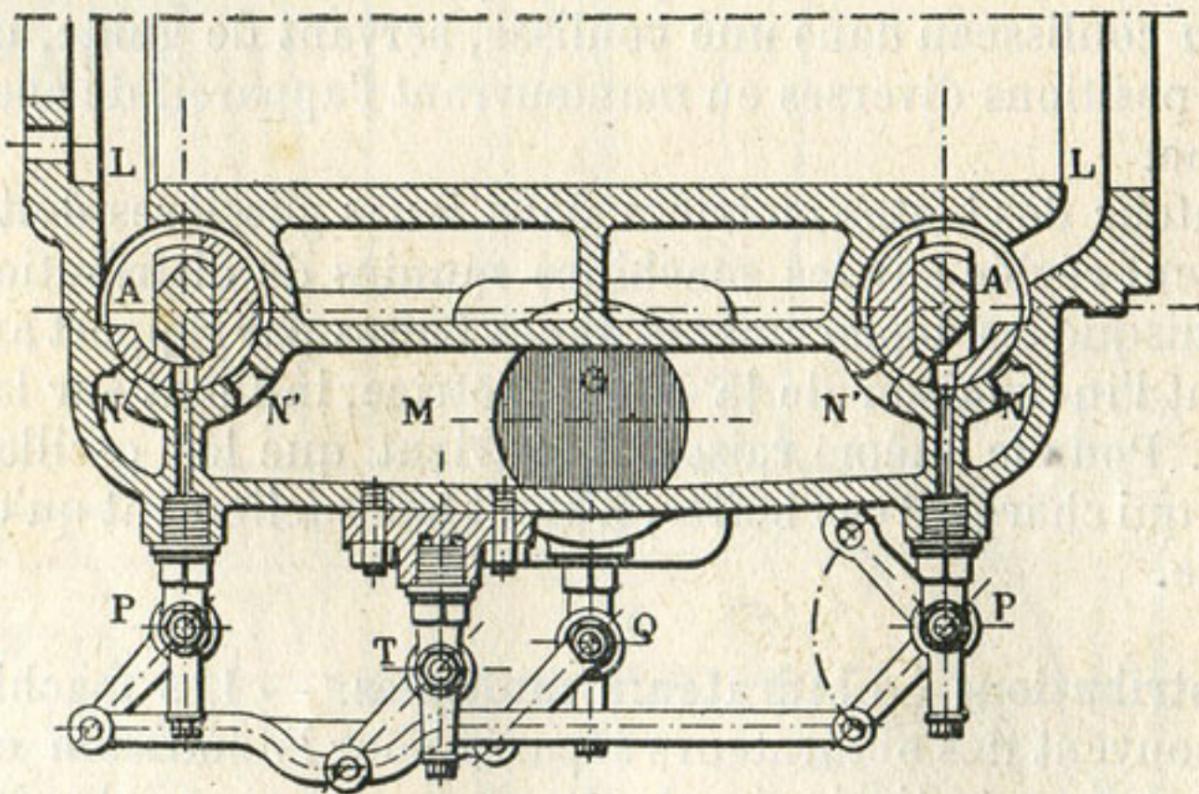


Fig. 176. — Distribution Durant et Lencachez (locomotives Est nos 833 et 834). Coupe longitudinale du cylindre, montrant les obturateurs d'échappement, que la pression de la vapeur applique constamment sur leur siège. Ces obturateurs sont commandés par l'intermédiaire d'un balancier de renvoi.

laisse échapper. C'est l'application aux locomotives du principe des machines Corliss.

94. Tiroir à canal. — La forme des tiroirs ordinaires a été parfois modifiée : une des modifications les plus simples donne le tiroir

à canal ou tiroir de Trick. Ce tiroir est fondu avec un canal qui va d'une bande à l'autre (fig. 177), et dont les bords c, c' , sont parallèles aux bords E, E' . En limitant la table par des bords C, C' , convenablement placés, on augmente la section de passage de la vapeur pour l'admission, sans modifier le mécanisme de distribution. Il faut qu'au moment où le bord e atteint le bord E de la table, c'est-à-dire au moment où la lumière va s'ouvrir, le bord c' du canal vienne toucher le bord C' de la table ; quand le tiroir aura légèrement dépassé

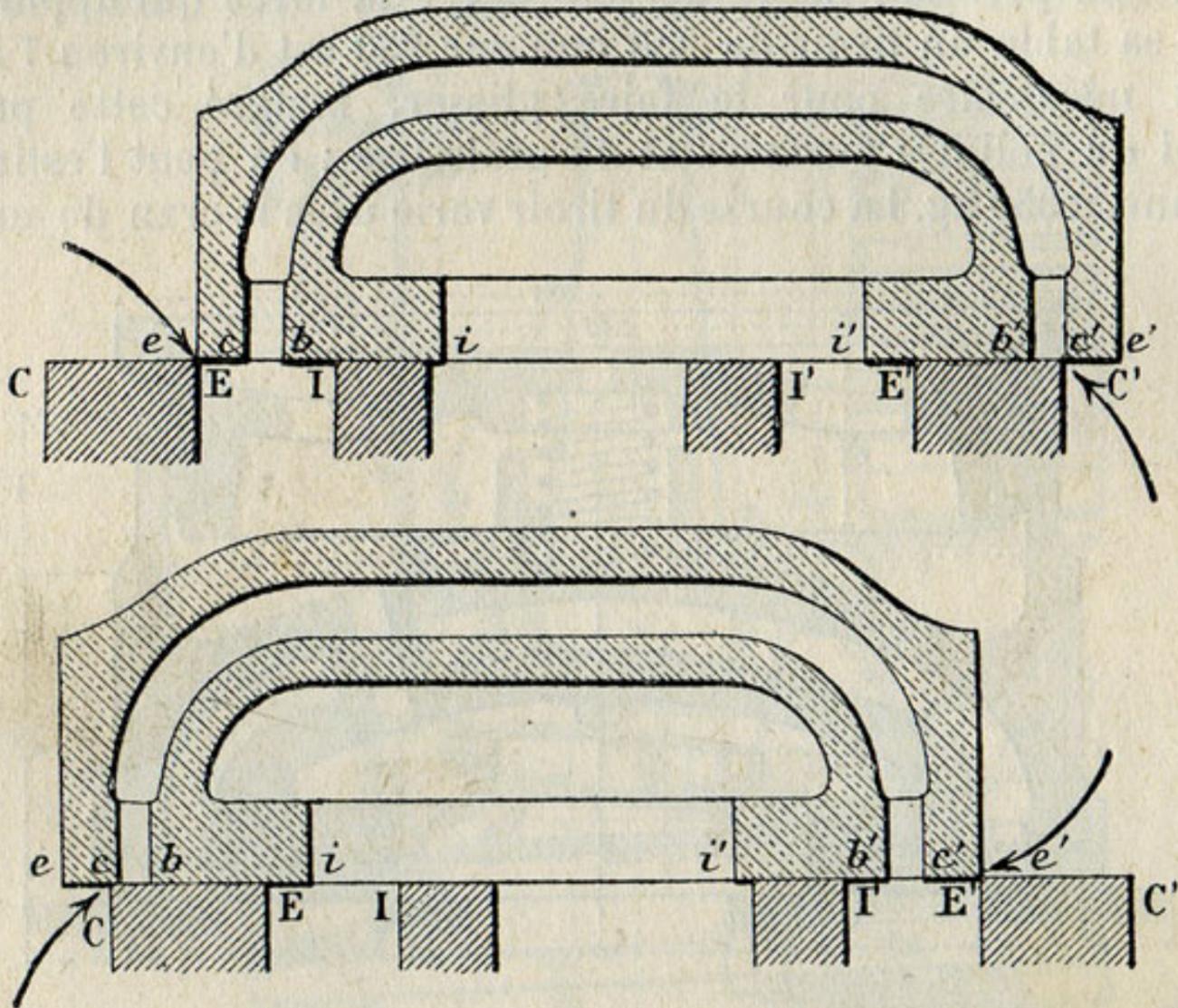


Fig. 177. — Tiroir à canal : 1° au début de l'admission dans la lumière de gauche ; 2° au début de l'admission dans la lumière de droite.

cette position, la vapeur s'introduira non seulement entre e et E , mais aussi, entre c' et C' , par le canal.

Le canal fonctionne de même pour l'admission dans l'autre lumière. En déterminant, sur le dessin du tiroir, la position du canal, on a soin que jamais il ne puisse venir déboucher dans la lumière d'échappement, parce que la vapeur fuirait par cette communication intempestive ; il faut que, dans la plus grande course du tiroir, le bord b n'atteigne pas le bord de la lumière d'échappement.

Cette disposition ingénieuse du tiroir diminue le laminage de vapeur ; elle rend le tiroir un peu plus lourd et plus difficile à exécuter, mais ne complique ni la conduite ni l'entretien de la machine. Elle ne modifie en rien les conditions d'échappement.

95. Frottement des tiroirs. — Le tiroir supporte la pression de la vapeur, qui l'appuie sur la table des lumières ; une pression beaucoup

moindre s'exerce par-dessous, car cette pression est à peu près celle de l'atmosphère dans toute la cavité intérieure, qui communique constamment avec le conduit d'échappement.

Il est nécessaire qu'une certaine force colle ainsi le tiroir sur la table, pour empêcher les fuites de vapeur par l'échappement; mais cette force est beaucoup plus grande qu'il ne serait utile: il en résulte un frottement important, qui absorbe du travail et use les surfaces frottantes.

Avec une pression de 10 kg par cm^2 , la force qui appuie ainsi contre sa table un tiroir de 350 mm sur 250 est d'environ 7 500 kg; l'effort nécessaire pour le faire glisser, malgré cette pression, dépend du poli des surfaces et du graissage: on peut l'estimer, en moyenne, à 350 kg. La course du tiroir varie avec le cran de marche:

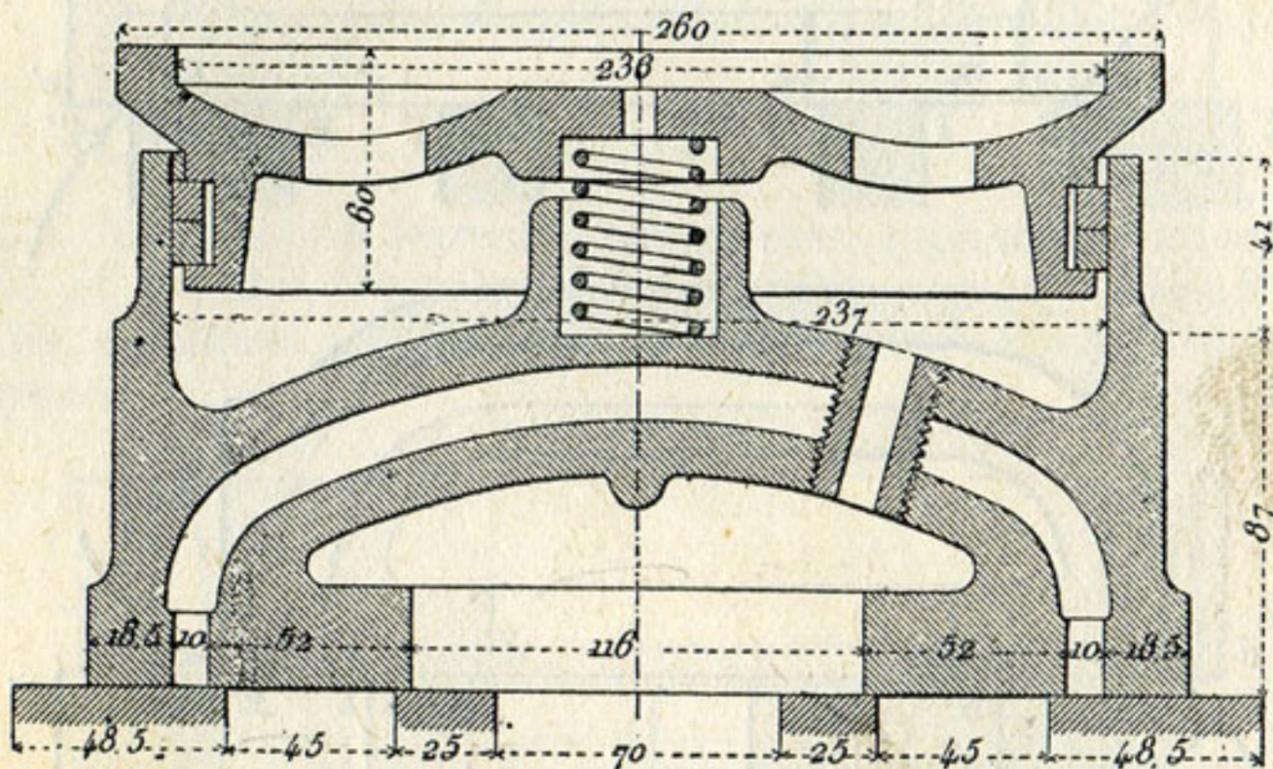


Fig. 178. — Tiroir à canal, avec compensateur Adams (locomotives du chemin de fer du Nord).

elle sera par exemple de 100 mm. Par tour de roue, le tiroir fait une excursion aller et retour, longue de 0,2 m. Le travail ainsi consommé est, en kilogrammètres, le produit de la force en kilogrammes par le chemin en mètres, c'est-à-dire $350 \times 0,2$ ou 70 kilogrammètres. Si les roues font trois tours par seconde, le frottement des deux tiroirs absorbe 420 kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire cinq à six chevaux-vapeur.

Quand la machine roule avec régulateur fermé, le tiroir est moins fortement appuyé sur la table; il peut même se soulever à certains moments; mais la présence de gaz chauds, qui nuisent au graissage, et, en outre, entraînent des cendres de la boîte à fumée, fait que l'usure est toujours à craindre.

Le graissage des tiroirs réduit ces effets pernicious. Les meilleurs appareils donnent l'huile en petite quantité à la fois et d'une manière continue, aussi bien quand le régulateur est fermé que quand il est ouvert (§ 73).

On peut aussi s'attaquer à la cause même du frottement et réduire la charge sur la table en équilibrant le tiroir. Une portion de la face supérieure du tiroir *Adams* (fig. 178) est soustraite à la pression de la vapeur : une couronne frotte sur le plateau de la boîte à vapeur, parallèle à la table des lumières ; elle peut jouer dans une partie alésée sur le dos du tiroir, et des bagues s'opposent aux fuites de vapeur. Grâce à cette disposition, la couronne est toujours appliquée contre le plateau, malgré l'usure.

L'espace ainsi isolé est mis en communication constante avec

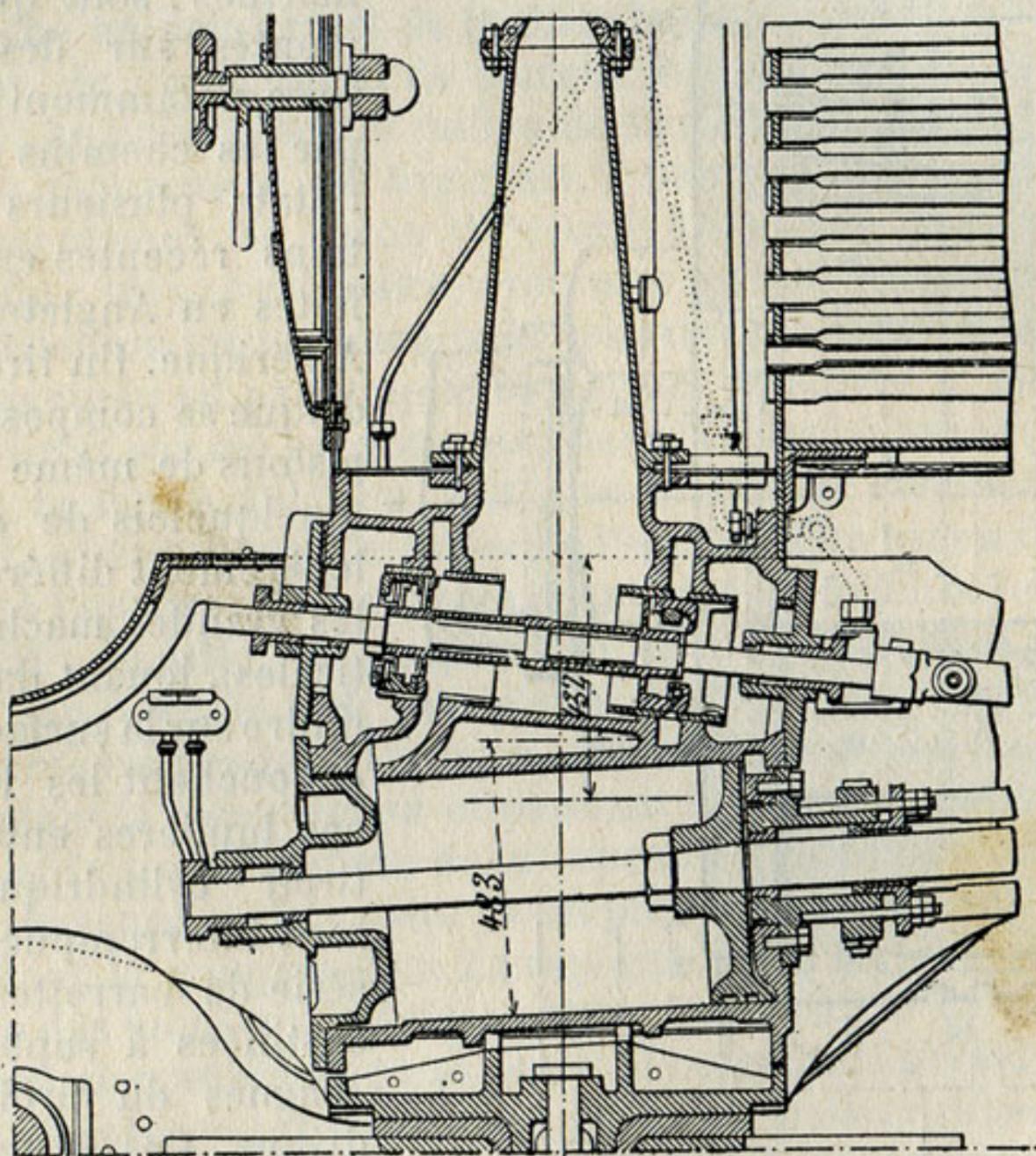


Fig. 179. — Tiroir cylindrique de locomotive du North-Eastern railway.
D'après M. Dumoulin.

l'échappement, de sorte que la pression de la boîte à vapeur ne peut s'y établir. Il faut que la partie ainsi soustraite à la pression de la vapeur ne dépasse pas beaucoup la moitié de la surface totale du tiroir ; autrement il aurait tendance à se soulever en marche.

Cette disposition réduit le frottement, au prix d'une petite fuite de vapeur. Il importe d'ailleurs que le graissage de la partie qui frotte sur le plateau soit assuré.

Dans le tiroir Richardson, fort usité aux États-Unis, et récemment appliqué à des locomotives des chemins de fer de l'Est, des barrettes rectilignes isolent sur le dos du tiroir une chambre rectangulaire. Quand ces barrettes sont montées avec les précautions convenables,

elles paraissent mieux fonctionner que la couronne circulaire du tiroir Adams ; il est probable qu'elles se prêtent aux petites inégalités que peut présenter la surface sur laquelle elles frottent.

96. Tiroirs cylindriques. — On peut équilibrer les pressions en faisant usage de tiroirs cylindriques, c'est-à-dire en remplaçant le tiroir plan par deux pistons conjugués (fig. 179 et 180). Les tiroirs cylindriques, fort employés dans les grandes machines marines, sont quelquefois montés sur des locomotives, notamment en France par les chemins de fer de l'État ; plusieurs applications récentes en ont été faites en Angleterre et en Amérique. Un tiroir cylindrique se compose de deux pistons de même diamètre (quelquefois de diamètres légèrement différents dans les grandes machines verticales), jouant dans un cylindre sur la surface duquel débouchent les lumières ; ces lumières entourent le tiroir cylindrique ; elles sont interrompues par une série de barrettes pleines, destinées à supporter les bagues du tiroir cylindrique. Ces pistons remplacent les bandes du tiroir plan, et ne modifient pas la distribution : l'échappement se produit entre les pistons, et l'admission sur leurs faces extérieures.

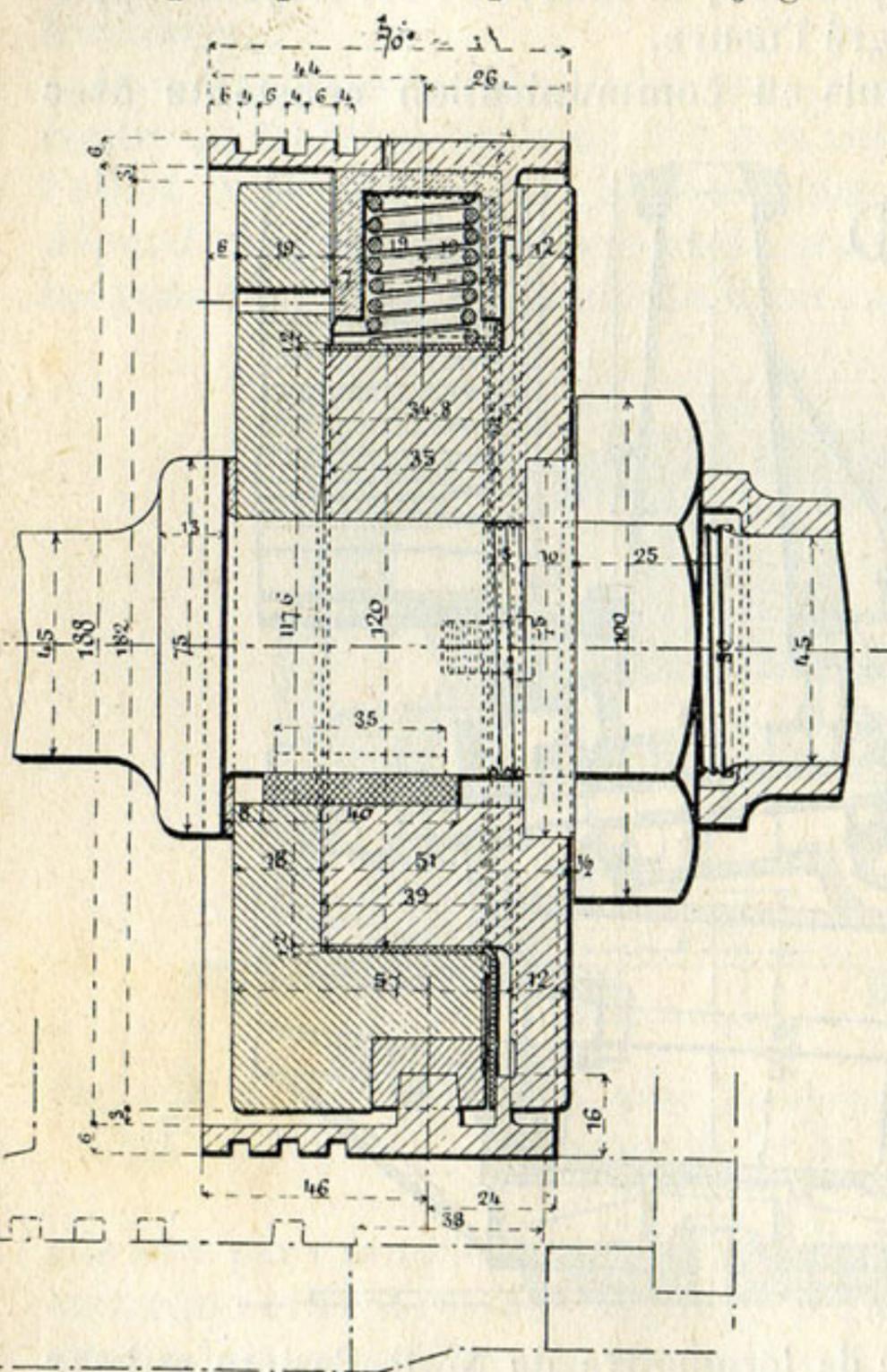


Fig. 180. — Coupe d'un des pistons formant les tiroirs cylindriques des locomotives de l'Etat français. D'après M. Demoulin.

Les bagues élastiques des tiroirs cylindriques peuvent être appliquées contre la paroi du cylindre par des ressorts ; on peut aussi faire agir la pression de la vapeur à l'intérieur de ces bagues : le seul frottement du tiroir tient à la force qui applique les bagues sur la surface cylindrique contre laquelle elles se meuvent. Il est bon que ces bagues soient libres de se soulever pour laisser échapper l'eau qui peut se trouver dans le cylindre moteur, quand le piston approche du fond de course.

Parfois on intervertit les côtés d'admission et d'échappement des tiroirs cylindriques, en changeant de côté les recouvrements, et en donnant aux excentriques un calage diamétralement opposé au calage normal; la vapeur est admise entre les deux pistons et s'échappe sur les faces extérieures.

Les locomotives munies de tiroirs cylindriques portent des *souppes de rentrée d'air*, montées sur la boîte à vapeur : le rôle de ces soupapes, dans la marche à régulateur fermé, est indiqué au paragraphe 100.

97. Marche au point mort de la distribution. — Quand on place le mécanisme de changement de marche avec l'index au zéro de la réglette, ou au point mort, le milieu de la coulisse conduit le coulisseau, et le mouvement du tiroir est à peu près celui que donnerait un excentrique de rayon OT^0 , calé à l'opposé de la manivelle motrice (fig. 181), c'est-à-dire avec une avance angulaire de 90° . Cette distribution est la même pour les marches avant et arrière. La méthode exposée au paragraphe 84 permet de suivre le mouvement donné au tiroir par cet excentrique. Dans la marche avant (sens de la flèche de la figure 181), on voit que la détente commence, pour l'arrière du piston, quand le rayon de l'excentrique est en OT^0_2 , et la manivelle à l'opposé; l'échappement anticipé commence lors du passage en OT^0_3 et OM_3 ; la compression en OT^0_5 et OM_5 ; l'admission anticipée, en OT^0_6 et OM_6 . Le piston fait, en sens contraires, les mêmes parcours pendant l'admission anticipée et pendant l'admission, pendant la compression et pendant la détente; mais le travail résistant et le travail moteur de la vapeur ne se compensent pas, la pression moyenne de la vapeur étant plus élevée pendant la détente que pendant la compression. La rapidité de la marche et la faible ouverture des lumières réduisent beaucoup l'entrée de vapeur pendant l'admission anticipée; c'est surtout pendant la période d'admission que s'exerce la pression, alors motrice; puis la vapeur ne sort pas instantanément du cylindre au début de l'échappement anticipé et continue à pousser le piston; c'est ce que montrent les diagrammes.

Le tracé pour la marche arrière se fait de même, et le diagramme est analogue.

Si la marche au point mort même de la distribution est possible, on ne saurait en conseiller l'emploi, parce qu'elle n'utilise pas bien la vapeur.

98. Action du régulateur et du changement de marche. — Comme le montre l'étude de la distribution, lorsqu'on rapproche l'appareil de changement de marche de son point mort, la période d'admission de vapeur diminue, ou la portion du parcours du piston, à partir du fond de course, pendant laquelle le tiroir ouvre l'admission de

vapeur, est de plus en plus courte. Si le changement de marche dans sa position extrême donne une admission d'environ 80 p. 100 (pendant les 80 centièmes du parcours du piston), on réduit cette admis-

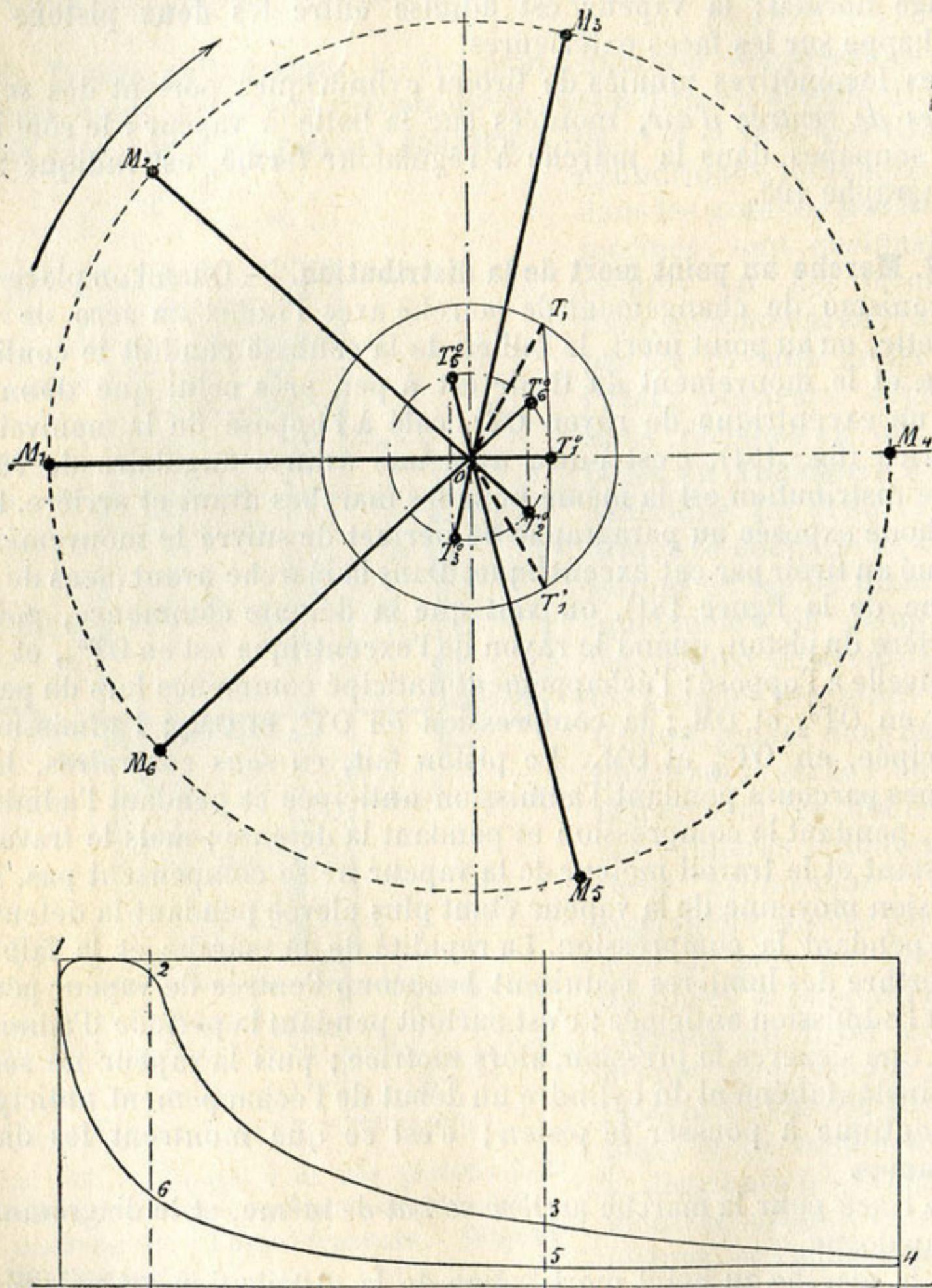


Fig. 181. — Distribution au point mort du changement de marche, et diagramme correspondant du travail de la vapeur sur une des faces du piston.

sion à 70, 60, 50, 40... p. 100 en ramenant le changement de marche jusqu'à son point mort, où elle conserve encore une certaine valeur, 10 p. 100 par exemple. Mais la variation de la période d'admission n'est pas le seul effet de cette manœuvre : les périodes d'échappe-

ment anticipé, vers la fin de la course aller, et de compression, vers la fin de la course de retour du piston, augmentent à mesure que la période d'admission diminue.

Lorsque le changement de marche se rapproche ainsi de son point mort, la diminution de l'admission d'une part, l'accroissement de la compression d'autre part, réduisent le travail de la vapeur par coup de piston.

Au lieu de toucher au changement de marche, on peut manœuvrer le régulateur : en n'ouvrant qu'une étroite issue à la vapeur de la chaudière, on la lamine : la pression est plus faible dans les boîtes à vapeur que dans la chaudière ; plus on referme le régulateur, plus on fait ainsi baisser la pression de la vapeur employée dans les cylindres, et plus on réduit encore le travail moteur par coup de piston. Mais on n'agit plus sur l'échappement anticipé, ni sur la compression pendant le retour du piston.

Ainsi, pour réduire l'effort moteur sur le piston, le mécanicien peut soit rapprocher le changement de marche du point mort sans toucher au régulateur, soit refermer le régulateur sans toucher au changement de marche, soit combiner les deux manœuvres.

Les diagrammes que donne l'indicateur figurent les variations du travail de la vapeur, qui résultent de ces diverses manœuvres ; le travail d'un coup de piston est mesuré par la surface de ce diagramme ; comme il y a deux cylindres à double effet, il y a par tour de roues quatre diagrammes pareils, si la distribution est bonne.

Qu'on suppose d'abord la machine marchant à une certaine vitesse moyenne invariable ; la figure 182 montre les diagrammes pour une série de positions des deux organes de manœuvre ; ceux qui sont marqués de la même lettre (*a*, *b*, *c*, *d*, ou *e*), et qui sont groupés en rangées horizontales, correspondent aux admissions moyennes p. 100 de 80, 60, 40, 20 et 10 (point mort), données par le changement de marche ; tous les diagrammes d'une rangée verticale, ayant même numéro (1, 2, 3, 4, 5), correspondent à une même ouverture du régulateur, les numéros 1 à la plus grande ouverture, les numéros 5 à la plus faible.

Le plus grand des diagrammes, celui qui correspond au travail le plus fort, *a*-1, est obtenu avec le changement de marche à fond de course et le régulateur ouvert en grand. Le plus petit est *e*-5. Parmi les autres diagrammes, on peut en trouver des séries qui ont même surface, si l'on suppose le tableau complété par le tracé des intermédiaires, en nombre aussi grand qu'on le désire. C'est ainsi que le diagramme *c*-1 équivaut à un diagramme placé entre *b*-2 et *c*-2 et qu'il a même surface à peu près que *b*-3 et *a*-4. Tous les diagrammes de même surface indiquent un même travail sur les pistons.

Ceci posé, quels motifs feront choisir, pour chaque valeur du travail à produire, le régime qui donne un de ces diagrammes plu-

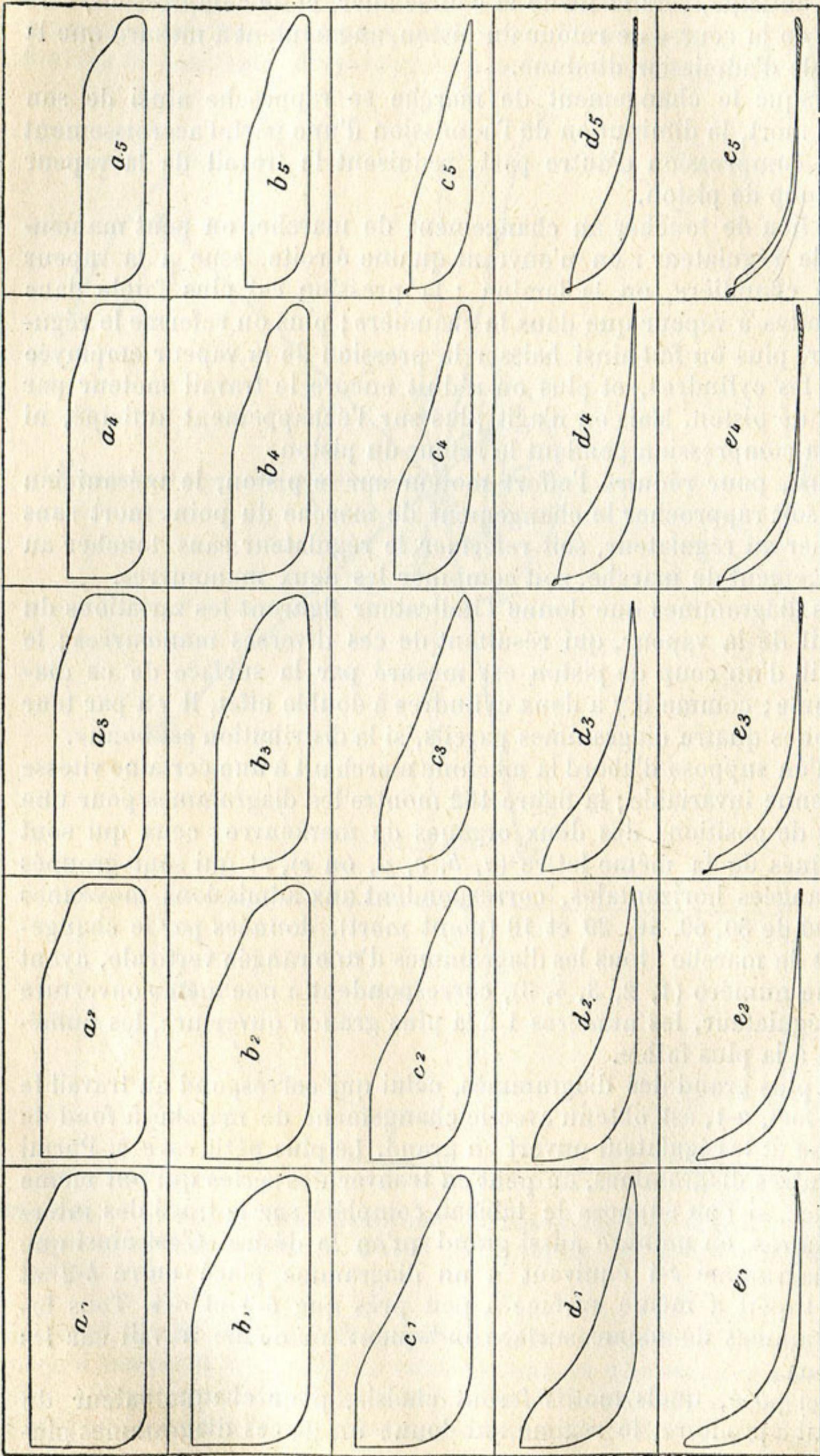


Fig. 182. — Diagrammes du travail de la vapeur correspondant à diverses positions du régulateur et du changement de marche.

tôt qu'un autre équivalent? C'est d'abord la recherche de l'économie : le diagramme qui produit le travail demandé avec le moindre poids de vapeur offre un avantage important; mais des expériences longues et délicates sont nécessaires pour déterminer exactement ce poids, et on ne peut le déduire du simple relevé à l'indicateur, à cause des fortes condensations qui se produisent pendant l'admission dans le cylindre : ces condensations ne sont pas visibles sur le diagramme. A défaut de ces expériences, le mécanicien habile déduit d'une longue pratique et d'une grande attention à la marche de sa machine les conditions qui lui permettent de réduire le plus sa consommation.

La considération du poids de vapeur dépensé n'est cependant pas la seule importante : tous les diagrammes portant le n° 1, qui correspondent au régulateur ouvert en grand, donnent à certains moments sur le piston la pleine pression de la vapeur dans la chaudière; d'autre part, les diagrammes marqués *e*, avec le changement de marche au point mort, indiquent aussi de fortes pressions sur le piston, à cause de la longue compression. Or, ces fortes pressions augmentent la fatigue du mécanisme et les frottements : à ce point de vue, les diagrammes qui, pour un même travail, ne les atteignent pas, sont avantageux : ce sont ceux qui correspondent à des admissions de 20 p. 100 au moins et à une ouverture incomplète du régulateur.

Les diagrammes *c-5*, *d-4*, *d-5*, *e-3*, *e-4* et *e-5* ont, dans le coin gauche supérieur, une boucle (couverte de hachures, peu visibles vu la petite échelle des dessins), qui montre que le piston comprime la vapeur jusqu'à une pression supérieure à celle de la boîte à tiroir. L'ouverture anticipée de l'admission limite cette compression, en laissant la vapeur refoulée sortir du cylindre et retourner dans la boîte à tiroir, mais non sans causer des pertes de travail : les boucles hachurées représentent un travail résistant ou *néгатif*, et leur surface doit être déduite du reste du diagramme.

Les diagrammes *d-5*, *e-2*, *e-3*, *e-4*, *e-5* montrent encore une boucle couverte de hachures, sur la droite : c'est encore un travail résistant à déduire : cette boucle tient à ce que la pression de la vapeur, à la fin de la détente ou au commencement de l'échappement anticipé, ne dépasse pas beaucoup celle de l'atmosphère. Le piston continuant son mouvement pendant l'échappement anticipé, il arrive que le cylindre, au lieu de renfermer un excès de vapeur, aspire dans la colonne d'échappement; comme cette aspiration se fait par des ouvertures étroites, il y a laminage, et la pression dans le cylindre s'abaisse au-dessous de la pression atmosphérique : c'est ce qu'on voit clairement sur le diagramme *d-5*, donné à plus grande échelle (fig. 183).

D'ailleurs, la pression n'a pas la même valeur dans toutes les chaudières de locomotive. Elle est d'environ 8 kg par cm² dans les

machines un peu anciennes, de 10 et de 12 kg dans nombre de machines récentes. Or, si les diagrammes de la figure 182 sont établis pour une pression de 9 kg, il faudra supprimer la première colonne (n^{os} 1) pour les machines timbrées à 8 kg, sur lesquelles les diagrammes portant les n^{os} 2 correspondront au régulateur ouvert en grand. Si avec cette ancienne machine timbrée à 8 kg on marchait le régulateur ouvert en grand et la distribution à 20 p. 100 d'admission, le jour où on en remplace la chaudière par une autre timbrée à 10 kg, on ne retrouve plus les mêmes conditions de marche en ouvrant le régulateur à fond. Avec une chaudière timbrée à 12 kg, l'effet sera plus sensible encore, et on pourra être conduit à y laminer davantage la vapeur à l'aide du régulateur.

En outre, la vitesse des locomotives varie beaucoup, et cette varia-

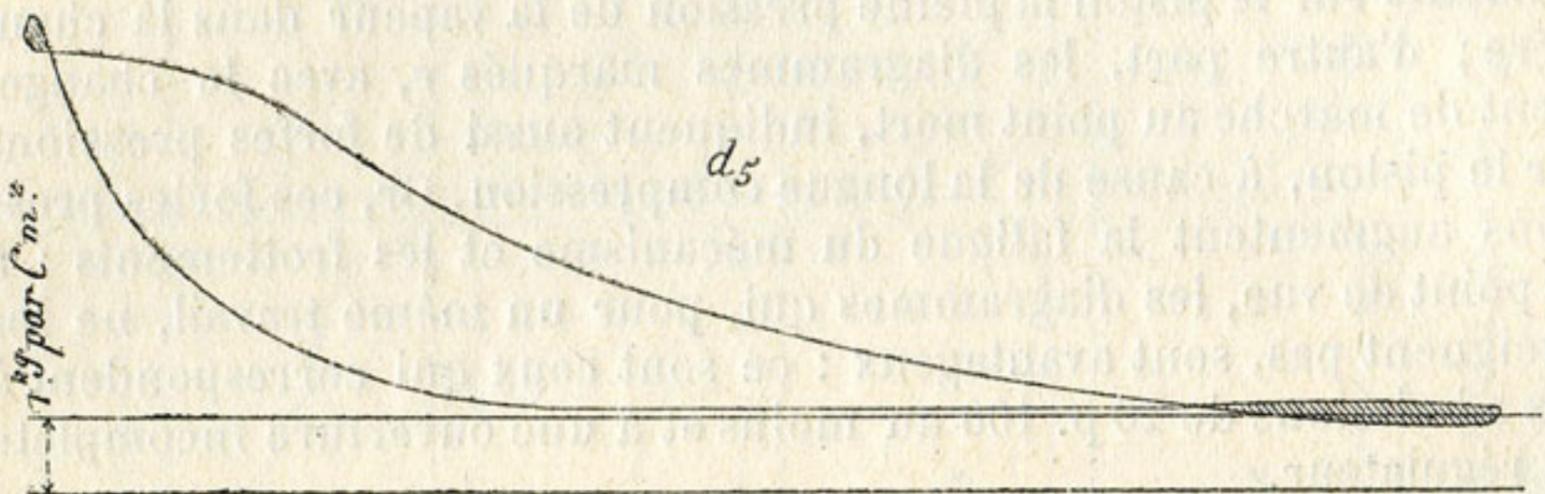


Fig. 183. — Diagramme avec travail résistant aux deux extrémités.

tion modifie encore le travail de la vapeur. Qu'on laisse le régulateur et le changement de marche dans une position déterminée sans y toucher ; quand la vitesse s'accroît, la vapeur traverse de plus en plus rapidement les divers passages étroits placés sur sa route ; les laminages ou chutes de pression augmentent. Ces laminages se produisent d'abord à la sortie de la chaudière par le régulateur, puis à l'admission dans le cylindre, par la fente qu'ouvre le tiroir, enfin à l'échappement : la pression s'abaisse dans la boîte à vapeur, puis elle tombe de plus en plus vers la fin de l'admission dans le cylindre. Par contre, l'effet de l'échappement anticipé diminue ; mais la contre-pression augmente pendant l'échappement et pendant la compression. Toutes ces actions, sauf celle de l'échappement anticipé, réduisent le travail de la vapeur par coup de piston, en diminuant l'effort moteur à l'aller et en augmentant la résistance au retour : la surface du diagramme se contracte de plus en plus. Les figures 184 et 185 représentent deux diagrammes (correspondant aux numéros *b-1* et *d-2* de la figure 182), pour une série de vitesses croissantes.

Ainsi, à des vitesses différentes, les mêmes positions du régulateur et du changement de marche ne donnent pas le même travail

par coup de piston ; certaines positions de ces organes, qui conviennent à une vitesse, peuvent donner une mauvaise utilisation de la vapeur avec d'autres vitesses.

En résumé, l'une des positions les plus convenables du changement de marche est celle qui donne l'admission d'environ 20 p. 100 : avec une plus forte admission, la vapeur, n'étant pas assez détendue dans le cylindre, est mal utilisée : une admission plus faible fait

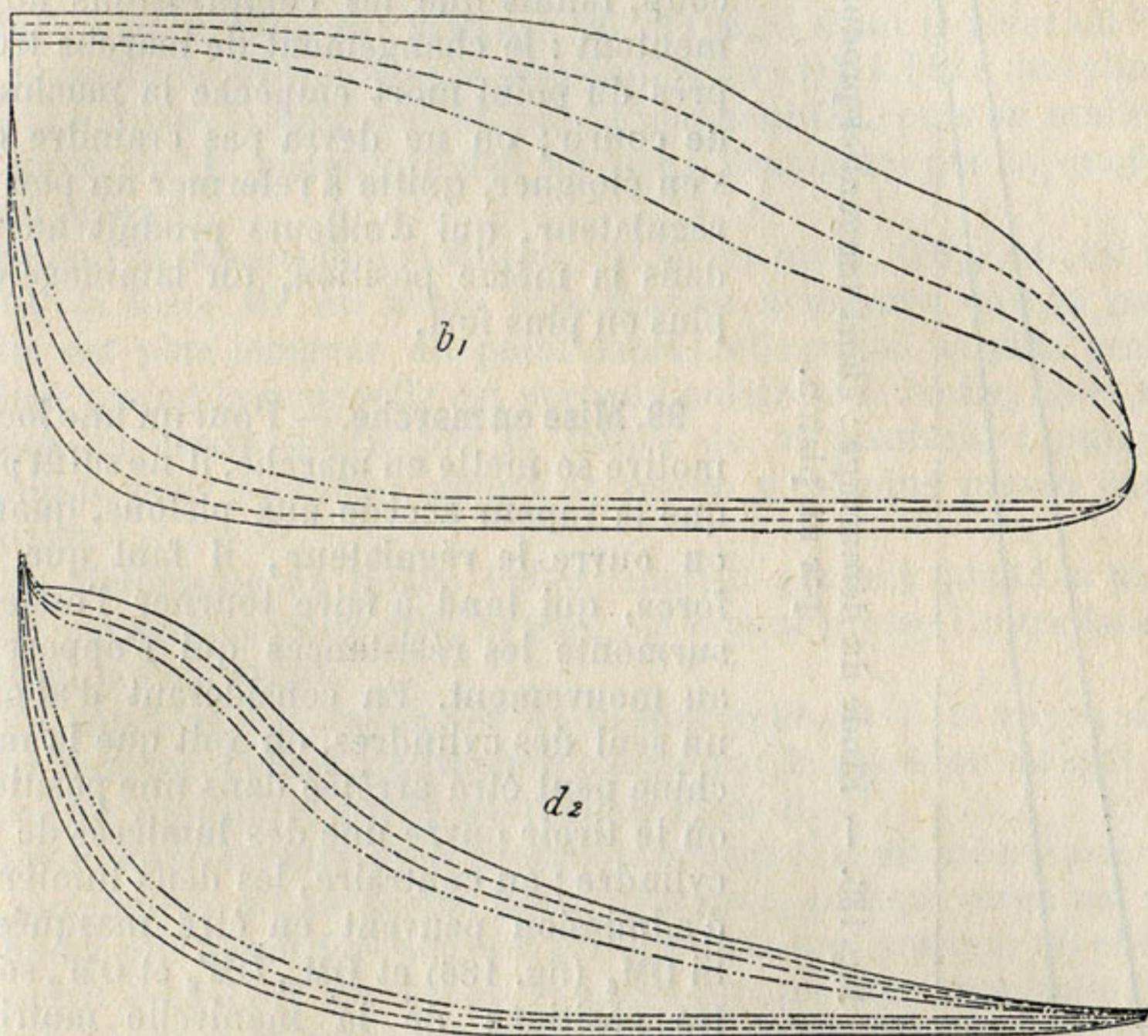


Fig. 184 et 185. — Diagrammes à diverses vitesses.

commencer trop tôt l'échappement anticipé et produit une trop forte compression.

Quand le changement de marche donne ainsi l'admission de 20 p. 100, si on veut réduire le travail moteur, on refermera un peu le régulateur ; mais il ne faut pas laminer ainsi par trop la vapeur, qui doit toujours arriver dans la boîte à tiroir avec une pression au moins égale à celle que donne la compression dans le cylindre. S'il faut réduire beaucoup le travail moteur, on devra en outre diminuer un peu l'admission avec le changement de marche.

Si l'on a besoin, au contraire, de plus de travail qu'on n'en donne, avec l'admission de 20 p. 100, le régulateur ouvert en grand, on augmentera l'admission à l'aide du changement de marche.

Toutefois, avec les chaudières à très haute pression (12 kg par cm^2),

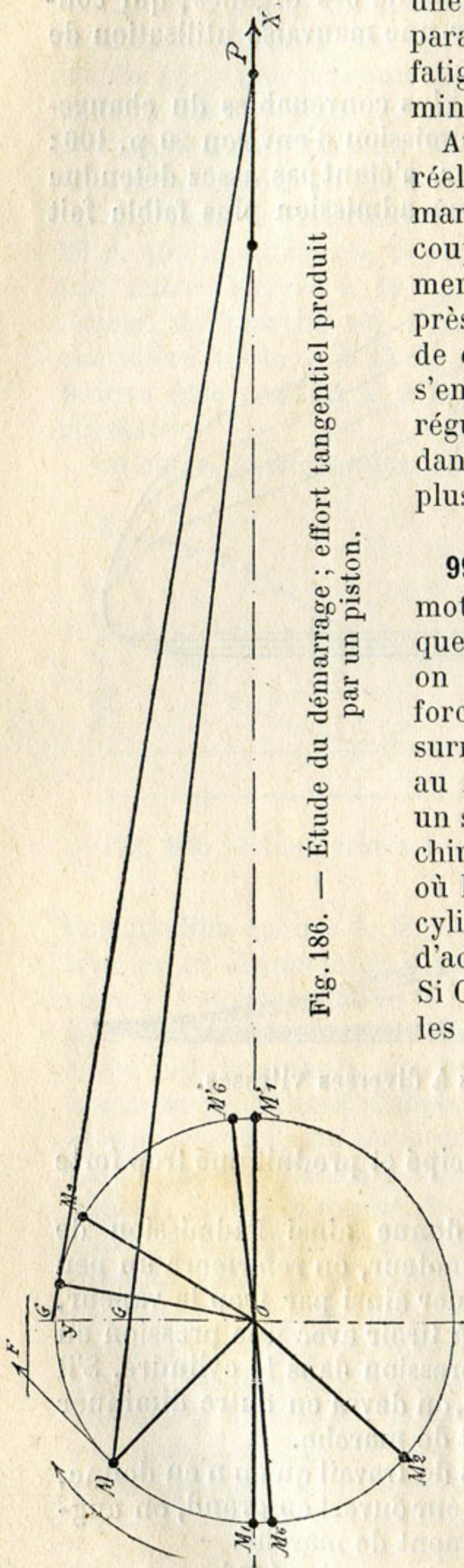


Fig. 186. — Étude du démarrage ; effort tangentiel produit par un piston.

une petite chute de pression au régulateur paraît toujours désirable, pour ne pas trop fatiguer les mécanismes et aussi pour diminuer les entraînements d'eau.

Aux grandes vitesses, les admissions réelles que donne le changement de marche au même cran diminuent beaucoup, tandis que les compressions augmentent : le changement de marche trop près du point mort empêche la machine de courir ; on ne devra pas craindre de s'en éloigner, quitte à refermer un peu le régulateur, qui d'ailleurs produit aussi, dans la même position, un laminage de plus en plus fort.

99. Mise en marche. — Pour qu'une locomotive se mette en marche, il ne suffit pas que la vapeur accède aux pistons, quand on ouvre le régulateur, il faut que la force, qui tend à faire tourner l'essieu, surmonte les résistances qui s'opposent au mouvement. En considérant d'abord un seul des cylindres, on voit que la machine peut être arrêtée dans une position où le tiroir ouvre une des lumières de ce cylindre ; au contraire, les deux lumières d'admission peuvent en être masquées. Si OM_6 (fig. 186) et OM_2 , OM'_6 et OM'_2 sont les positions de la manivelle motrice lorsque le tiroir commence à ouvrir ou achève de fermer une lumière d'admission, la vapeur n'entre pas dans le cylindre quand la manivelle est arrêtée entre OM_2 et OM'_6 ou entre OM'_2 et OM_6 ; quand elle se trouve arrêtée entre OM'_6 et OM'_1 ou entre OM_6 et OM_1 , c'est-à-dire dans les positions où le tiroir donne une admission anticipée, la vapeur vient bien presser le piston, mais elle tend à donner à l'essieu une rotation contraire à celle qu'on veut produire ; l'effort produit est faible, il est vrai, la manivelle étant voisine du point mort.

Si la manivelle est arrêtée dans une position telle que OM , le piston est pressé par la vapeur avec une force facile à calculer : c'est le produit de la pression effective, en kilogrammes par centimètre carré, soit 10, par la surface du piston en centimètres carrés ; s'il a 45 cm de diamètre, cette surface couvre 1 590 cm^2 , et la force est de 15 900 kg. On peut en déduire la force correspondante à l'extrémité de la manivelle, représentée par le vecteur MF , à l'aide d'une règle simple : on mesure sur la figure OG et OM , G étant le point où l'axe de la bielle motrice coupe la perpendiculaire OY à l'axe du cylindre OX ; on divise la longueur OG par la longueur OM , puis on multiplie la force sur le piston (15 900 kg dans l'exemple) par le quotient ainsi obtenu.

Quand la manivelle est voisine du point mort, OM_1 , OG est très petit, la force MF est faible. Elle grandit à mesure que la manivelle est plus éloignée du point mort ; elle prend sa plus grande valeur quand la manivelle est perpendiculaire à la bielle, alors tangente au cercle décrit par le centre de la manivelle ; puis elle diminue pour s'annuler quand le piston n'est plus pressé par la vapeur.

On détermine de même l'effort moteur produit quand la manivelle est arrêtée entre OM'_1 et OM'_2 : la vapeur presse l'autre face du piston, la face avant.

En appelant r le rayon OM de la manivelle, et R le rayon de la roue motrice, l'effort de traction exercé par la machine est égal à la force MF multipliée par le quotient de r par R .

Cette étude montre avec précision pourquoi il est nécessaire que la locomotive ait au moins deux cylindres, puisque avec un seul cylindre elle serait fort souvent arrêtée dans une position où elle ne pourrait démarrer. Le second cylindre attaque une manivelle perpendiculaire à la première : au démarrage, ou les deux cylindres reçoivent de la vapeur, et les efforts qu'ils produisent s'ajoutent ; ou bien un seul cylindre agit ; cela dépend des positions où se trouve arrêtée la machine.

L'effort total prend sa plus petite valeur lorsqu'une des manivelles a légèrement dépassé la position où le tiroir interrompt l'admission, OM_2 ou OM'_2 : un seul cylindre est moteur et sa manivelle n'est pas encore fort éloignée du point mort. C'est alors que les machines, si elles ont une charge un peu forte à mettre en mouvement, ne démarrent pas. On change le sens de la marche : le cylindre qui commande la manivelle en OM_2 ou OM'_2 reçoit de la vapeur pour la marche arrière, et il est possible que le cylindre de l'autre manivelle en reçoive de même. Toutefois, il peut arriver, avec les distributions généralement en usage sur les locomotives, qu'il n'en soit pas ainsi, de sorte qu'on n'est pas mieux placé pour la marche arrière que pour la marche avant : il est vrai que si l'effort de traction à produire est considérable, la pous-

sée, qui n'agit pas simultanément sur tout le train, exige une force moindre.

Pour que le démarrage soit rarement difficile, il faut que les zones telles que $OM_2 - OM'_1$ et $OM'_2 - OM_1$ soient restreintes, ou, en d'autres termes, que les périodes d'admission, correspondant aux arcs $OM_1 - OM_2$, $OM'_1 - OM'_2$, soient longues : c'est pourquoi on met le changement de marche à fond de course pour le démarrage ; les meilleures distributions de locomotives, à ce point de vue, sont celles qui donnent alors les plus grandes périodes d'admission.

100. Marche à régulateur fermé. — Quand on ferme le régulateur, on met le changement de marche à fond de course : la machine roule plus librement ; les tiroirs et les cylindres se conservent mieux. Que le régulateur soit ouvert ou fermé, quand la machine tourne, le tiroir se meut de la même manière, ouvrant et fermant les lumières du côté de la boîte à vapeur et du côté de l'échappement aux mêmes instants, c'est-à-dire quand le piston passe par les mêmes positions. Soient $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ (fig. 187), les positions du centre de l'excentrique, au commencement des six phases de la distribution sur la face arrière du piston ; soient $OM_1, OM_2, OM_3, OM_4, OM_5, OM_6$ les positions correspondantes de la manivelle motrice, et 1, 2, 3, 4, 5, 6, celles du piston.

Pendant le parcours 1 — 2 du piston, l'arrière du cylindre communique avec la boîte à vapeur et le piston exerce une aspiration dans cette boîte, où la vapeur n'arrive plus, le régulateur étant fermé. Le tiroir, se soulevant un peu, laisse alors pénétrer dans le cylindre les gaz pris, par l'échappement, dans la boîte à fumée.

Pendant le parcours 2 — 3, l'arrière du cylindre ne communique ni avec la boîte à vapeur ni avec l'échappement ; les gaz qu'il renferme se dilatent, par suite de l'accroissement du volume qu'ils occupent. Quand le piston arrive en 3, la communication avec l'échappement s'ouvre : c'est alors surtout que peuvent entrer dans le cylindre la fumée et les gaz chauds venus du foyer.

Pendant le retour du piston de 4 à 5, il refoule par l'échappement l'air et les gaz ; puis, pendant le trajet 5 — 6, il comprime les gaz qu'il contient encore, et, enfin, ces gaz comprimés s'échappent dans la boîte à vapeur, dès que la lumière s'ouvre, en 6. Quand on comprime des gaz, ils s'échauffent ; ici les gaz sont déjà chauds, puisqu'ils sont pris dans la boîte à fumée ; la compression en élèvera encore la température ; ces gaz très chauds brûlent les matières de graissage et risquent de détériorer les surfaces polies du cylindre. En outre, d'une part la raréfaction des gaz, surtout pendant la détente où ils sont confinés dans le cylindre, d'autre part leur compression, exercent une résistance qui ralentit ou même arrête la machine.

Les mêmes effets se produisent sur la face avant du piston. Ils sont

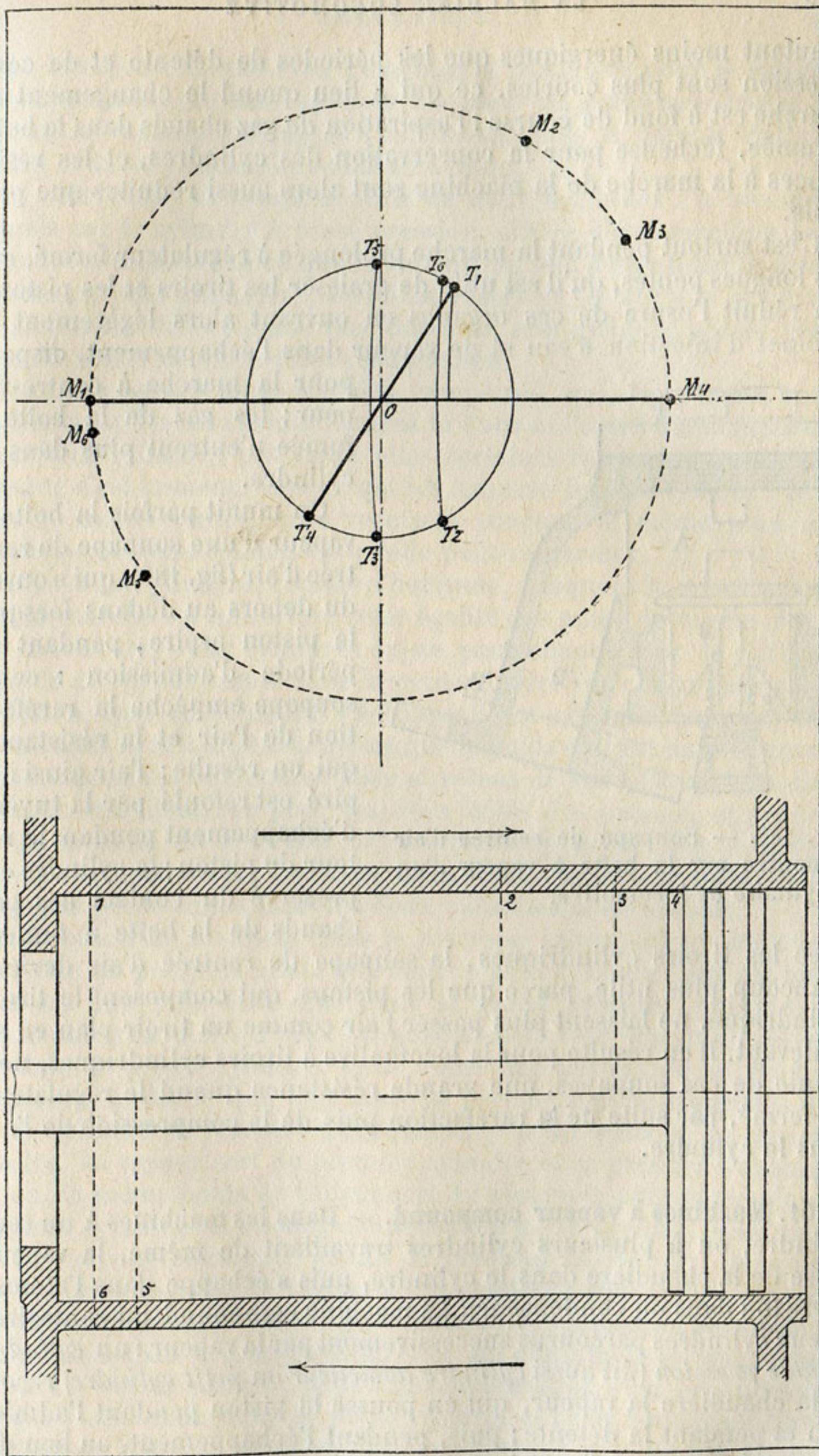


Fig. 187. — Positions corrélatives du centre de l'excentrique, de la manivelle motrice et du piston, pour l'étude de la marche à régulateur fermé.

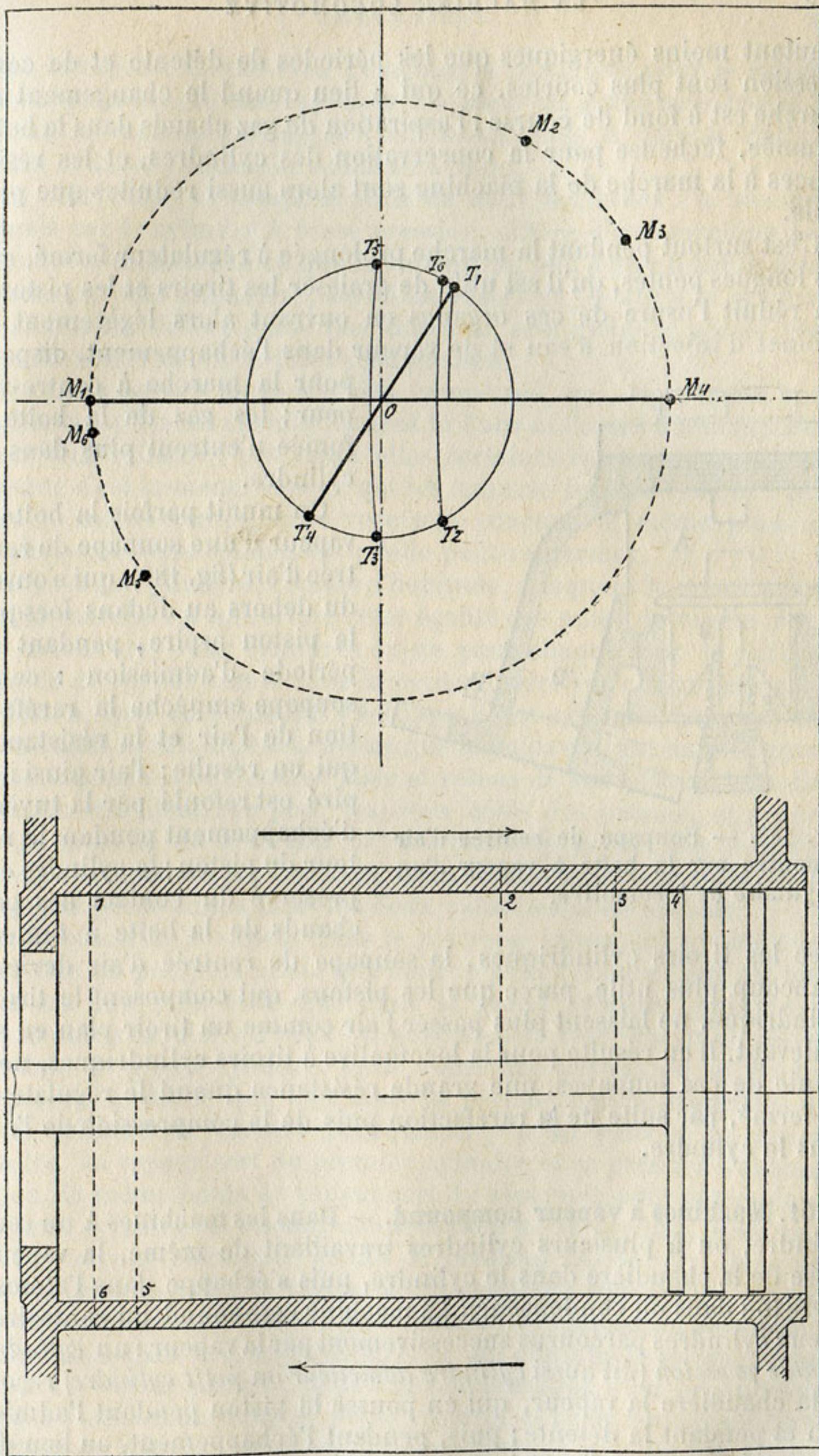


Fig. 187. — Positions corrélatives du centre de l'excentrique, de la manivelle motrice et du piston, pour l'étude de la marche à régulateur fermé.

rend la vapeur. Ce réservoir remplace la chaudière pour le *cylindre à basse pression* (dit aussi *cylindre détenteur* ou *grand cylindre*) et lui fournit la vapeur, qui, après l'admission, puis la détente dans ce grand cylindre, s'échappe enfin au dehors.

La compound se compose ainsi de deux machines : la seconde, formée par le cylindre à basse pression, diffère d'une machine à un cylindre seulement en ce que la vapeur, au lieu d'être fournie directement par une chaudière, sort d'un réservoir. Quant à la première machine, elle diffère d'une machine à un seul cylindre par la pression du réservoir où se fait l'échappement.

Ces deux parties de la machine compound, qui, séparément envisagées, ne diffèrent essentiellement ni l'une ni l'autre d'une machine à un seul cylindre, ont entre elles certaines relations nécessaires, puisque c'est la même vapeur qui les traverse successivement : pendant le même temps, elles reçoivent chacune le même poids de vapeur, avec l'eau condensée qu'elle peut renfermer.

Si les deux cylindres, comme d'habitude, attaquent le même arbre, et si la marche est uniforme, cette égalité des poids de vapeur reçus par chacun des deux cylindres existe pour chaque tour de l'arbre : le poids de vapeur admis dans le petit cylindre sur chacun des côtés du piston, égal au poids qui s'échappe de ce cylindre, pendant une course aller et retour, est le même que le poids entrant dans le grand cylindre pendant une course aller et retour de son piston. Si la distribution est identique pour les deux côtés des pistons, et pourvu que la capacité du réservoir ne soit pas trop petite, il y a égalité entre les admissions sur les côtés avant et arrière, et, par suite, entre les quatre poids admis dans les deux cylindres pour un tour.

La pression de la vapeur dans le réservoir intermédiaire doit toujours être un peu plus petite que dans le petit cylindre ; elle est toujours un peu plus forte que dans le grand cylindre, puisque la vapeur doit s'écouler du petit cylindre dans le réservoir et du réservoir dans le grand cylindre. Cette remarque permet de se rendre compte de la durée que doit avoir la période d'admission dans le grand cylindre et montre pourquoi il y a un *petit* et un *grand* cylindre. La vapeur sort du premier cylindre et sa pression s'abaisse un peu ; le même poids de vapeur sort du réservoir pour entrer dans le second cylindre : si aucune condensation ne se produit, le volume de cette vapeur augmente quand la pression baisse. Or, dans un réservoir bien installé, la vapeur ne se condense pas ; il n'en est pas de même dans les cylindres : une certaine condensation se produit à l'admission dans le grand cylindre, ce qui diminue le volume apparent de la vapeur admise ; mais une condensation s'est produite de même à l'admission dans le petit cylindre, et l'eau condensée s'est vaporisée de nouveau pendant l'échappement de ce cylindre, ce qui augmente le volume de la vapeur. Les deux effets se compensent à peu près : l'eau qui se forme dans le grand cylindre pendant l'admis-

sion est celle qui s'est retransformée en vapeur dans le petit cylindre pendant l'échappement, et on peut dire que le volume ouvert à l'admission dans le grand cylindre doit toujours être un peu plus grand que le volume ouvert à l'échappement dans le petit cylindre. Comme l'échappement se ferme un peu avant la fin de course du piston, qui produit une certaine compression, ce volume d'échappement est un peu moindre que celui du petit cylindre, d'où la règle fort simple : le volume d'admission dans le grand cylindre sera le volume du petit cylindre.

Une fois admise dans le grand cylindre, cette vapeur doit ensuite s'y détendre, de manière à doubler ou tripler le volume admis, ce qui donne au grand cylindre deux ou trois fois le volume du petit.

En donnant à la période d'admission dans le grand cylindre une valeur supérieure à la limite convenable, on abaisse la pression dans le réservoir intermédiaire, et on diminue le travail de la vapeur sur le grand piston ; le travail sur le petit piston augmente, au contraire, par suite de l'abaissement de la pression résistante du réservoir. On voit aisément, en comparant les diagrammes, que le travail total sur les deux pistons se trouve réduit.

Pour comparer une machine compound à une machine ayant un seul cylindre, il suffit de remarquer que la compound, à chaque demi-tour, prend un certain volume de vapeur à la pression de la chaudière, et laisse échapper au dehors un volume de vapeur détendue jusqu'à remplir à peu près la capacité totale du grand cylindre. En comparant ces deux volumes, on voit combien la vapeur s'est détendue. Qu'on introduise directement le même volume de vapeur pris à la chaudière dans une machine ayant pour cylindre unique le cylindre à basse pression de la compound ; au moment de l'échappement, la vapeur se sera détendue dans ce cylindre unique, autant que dans la compound. Par la même détente du même volume de vapeur, on recueillera à peu près le même travail : on peut dire qu'une machine compound équivaut à une machine réduite au seul cylindre à basse pression, alimentée par la même chaudière.

On voit même que les petites chutes de pression inévitables, qui se produisent lors des deux transvasements successifs de la vapeur, diminuent un peu le travail de la machine compound ; mais la consommation de vapeur est le plus souvent moindre dans la compound.

Les machines compound ont en effet plusieurs avantages spéciaux. Il est difficile d'obtenir, dans un cylindre unique, une détente un peu grande de la vapeur (6 à 8 fois le volume pris dans la chaudière), sans faire usage de certains mécanismes de distribution, moins simples que la commande ordinaire du tiroir, tels que ceux des machines Corliss : avec la coulisse et le tiroir, les grandes détentes ne s'obtiennent qu'en augmentant outre mesure les périodes d'échappement anticipé et de compression, et en laminant la vapeur pen-

dant l'admission, par suite de la faible ouverture des lumières. Or, pour tirer bon parti des pressions élevées de vapeur, il faut une forte détente.

En outre, les espaces libres des cylindres doivent être à chaque course remplis de vapeur à la pression d'admission, que cette vapeur soit prise à la chaudière ou qu'elle provienne de la compression de la vapeur détendue. Quand la pression à l'admission est élevée, on dépense ainsi beaucoup de vapeur, ou on prend beaucoup de travail au piston. Dans la compound, l'espace libre, en relation avec la chaudière lors de l'admission au petit cylindre, est plus petit que dans la machine équivalente, qui aurait pour cylindre unique le grand cylindre de la compound : en outre, une compression modérée y remplit assez facilement les espaces libres des deux cylindres de vapeur à la pression d'admission.

Pendant l'admission dans le cylindre d'une machine, une partie de la vapeur se condense ; l'eau ainsi formée se revaporise pendant l'échappement. Il en résulte une dépense inutile de vapeur, qui est souvent considérable. Une machine à un cylindre, sans condensation, recevra par exemple la vapeur à la pression de 10 kg par cm^2 ou à la température de 183° ; à l'échappement, la pression est celle de l'atmosphère et la température de la vapeur est 100° . Les parois du cylindre sont donc baignées par un fluide qui passe alternativement de 183° à 100° , ce qui produit les condensations et les vaporisations.

Dans la compound équivalente, la vapeur entre à 183° dans le petit cylindre, mais elle en sort à une pression de 3 ou 4 kg par cm^2 , c'est-à-dire à la température d'environ 140° . Dans le grand cylindre la température varie de 140° à 100° . Les écarts de température dans chaque cylindre sont donc réduits, ce qui paraît de nature à diminuer la quantité de vapeur condensée à l'admission.

Les fortes pressions causent un frottement considérable des tiroirs et parfois des usures rapides. Cet inconvénient est moindre dans les machines compound, car la force qui appuie sur sa table le tiroir du petit cylindre n'est due qu'à la différence de la pression dans la chaudière et dans le réservoir ; sur le tiroir du grand cylindre on a seulement la pression du réservoir. Les tiroirs se trouvent ainsi en partie équilibrés, sans qu'on ait besoin de recourir à aucune disposition spéciale.

Les fuites de vapeur autour des pistons et tiroirs, qui existent sans qu'on les remarque, à moins qu'elles ne deviennent importantes, se réduisent dans les compound, puisque la fuite à travers les mêmes passages est d'autant moindre que la différence de pression d'un côté à l'autre est plus faible.

Enfin, dans chacun des cylindres de la compound, la détente est bien moins considérable que dans une machine équivalente à deux cylindres séparés : la variation de la pression, et, par suite, de la

force qui pousse le piston, est donc moindre du commencement à la fin de la course : les pièces de la machine sont moins fatiguées et l'effort moteur peut être plus régulier.

102. Locomotives compound. — L'application du système compound aux machines marines, qui a commencé vers 1862, a permis de réaliser des économies considérables de combustible ; M. Mallet a pensé qu'il pouvait de même être appliqué aux locomotives, et il a fait construire en 1876 les premières machines de ce genre. Depuis cette époque, un grand nombre de locomotives compound ont été exécutées. Cette application du système compound est d'autant mieux justifiée que la pression dans la chaudière est plus élevée.

La locomotive compound peut n'avoir que deux cylindres : le cylindre à haute pression conserve à peu près les dimensions du cylindre d'une locomotive ordinaire ; le volume du cylindre à basse pression est deux à deux fois et demie plus grand.

Pour éviter un trop gros cylindre, souvent difficile à placer sur la locomotive, on divise en deux le cylindre à basse pression. Le réservoir intermédiaire alimente alors deux cylindres ayant chacun la moitié de la capacité du cylindre unique. Par exception, dans la locomotive de Webb, qui a trois cylindres, c'est le petit cylindre qui a été divisé en deux.

Souvent on divise en deux chacun des deux cylindres : on forme deux groupes de deux cylindres, l'un à haute pression, l'autre à basse pression ; cette division réduit notablement les efforts sur les pièces du mécanisme et se prête à des combinaisons commodes, notamment dans les locomotives articulées.

Les quatre cylindres sont aussi employés d'une manière différente, en formant un groupe unique d'un petit et d'un grand cylindre, avec un seul tiroir, plan ou cylindrique, qui transvase directement la vapeur du petit dans le grand : cette disposition spéciale est désignée sous le nom de système *Woolf*.

Le réservoir intermédiaire se compose du conduit d'échappement du petit cylindre, de la boîte à vapeur du grand, parfois de diverses capacités fondues avec les cylindres : on y ajoute souvent un tuyau qui fait le tour de la boîte à fumée, où il est soustrait à tout refroidissement, et même chauffé par les gaz qui se rendent à la cheminée. Une soupape de sûreté limite la pression dans le réservoir.

On a conservé, dans les locomotives compound, la distribution usuelle par tiroir, qui convient pour ces machines, où la détente dans chaque cylindre est assez faible : dans le cylindre à basse pression, l'admission ne doit guère descendre au-dessous de 45 à 50 p. 100 ; dans le cylindre à haute pression, une admission de 30 p. 100 donne déjà, par tour de roues, un travail fort réduit. Cependant, malgré ces grandes admissions, auxquelles correspondent des périodes de compression relativement courtes, la compression est souvent trop

forte dans les cylindres des locomotives compound, parce que la vapeur comprimée dans le petit cylindre est celle du réservoir intermédiaire, qui a déjà une pression élevée, tandis que la pression finale dans le grand cylindre doit être limitée à cette même valeur, au lieu de pouvoir atteindre la pression de la chaudière. Les laminages de vapeur exagèrent encore ces compressions aux grandes vitesses. Pour éviter les compressions excessives, qui absorbent inutilement du travail et qui fatiguent les mécanismes, on emploie des tiroirs sans recouvrements intérieurs ou même avec découverts. En outre, on a dû souvent agrandir les espaces libres, par exemple en montant des pistons évidés sur les deux faces dans des cylindres munis de fonds plats.

En principe, il convient que les distributions des cylindres à haute et à basse pression d'une locomotive soient commandées par des mécanismes de relevage différents, car l'admission ne doit pas varier beaucoup dans les cylindres à basse pression : on l'augmente seulement à grande vitesse pour compenser l'effet des laminages. Aussi dispose-t-on souvent les machines pour que les deux relevages puissent être manœuvrés indépendamment.

Comme il est important que le sens de la marche puisse être rapidement changé pour les deux groupes, on combine ces mécanismes de manière à permettre à volonté la manœuvre simultanée et la manœuvre indépendante (fig. 189).

Le désir de simplifier la construction et la manœuvre de la machine a fait conserver un arbre de relevage unique sur beaucoup de locomotives compound à deux cylindres : la distribution est la même dans les deux cylindres, ce qui n'est pas sans inconvénients : on ne peut guère descendre à de faibles admissions, 40, 30 p. 100 dans le petit cylindre, parce que ces admissions sont insuffisantes dans le grand.

En calant différemment les leviers sur l'arbre de relevage unique, on obtient simultanément dans les deux cylindres des admissions différentes et mieux graduées, au moins pour la marche avant.

Lorsqu'on est bien fixé sur les positions corrélatives des deux mécanismes de distribution, on peut les manœuvrer à l'aide d'un appareil unique, qui réalise ces positions corrélatives; toutefois cette méthode suppose que les positions corrélatives doivent rester les mêmes aux différentes vitesses, et l'appareil est assez compliqué. Les systèmes laissant au conducteur de la machine le soin d'ajuster les deux distributions paraissent en général préférables.

Dans les machines à quatre cylindres avec détente de Woolf, le relevage est unique, puisqu'un même tiroir distribue la vapeur dans les deux cylindres correspondants.

103. Locomotives compound à deux cylindres. — Certaines dispositions spéciales sont nécessaires pour le démarrage des locomotives

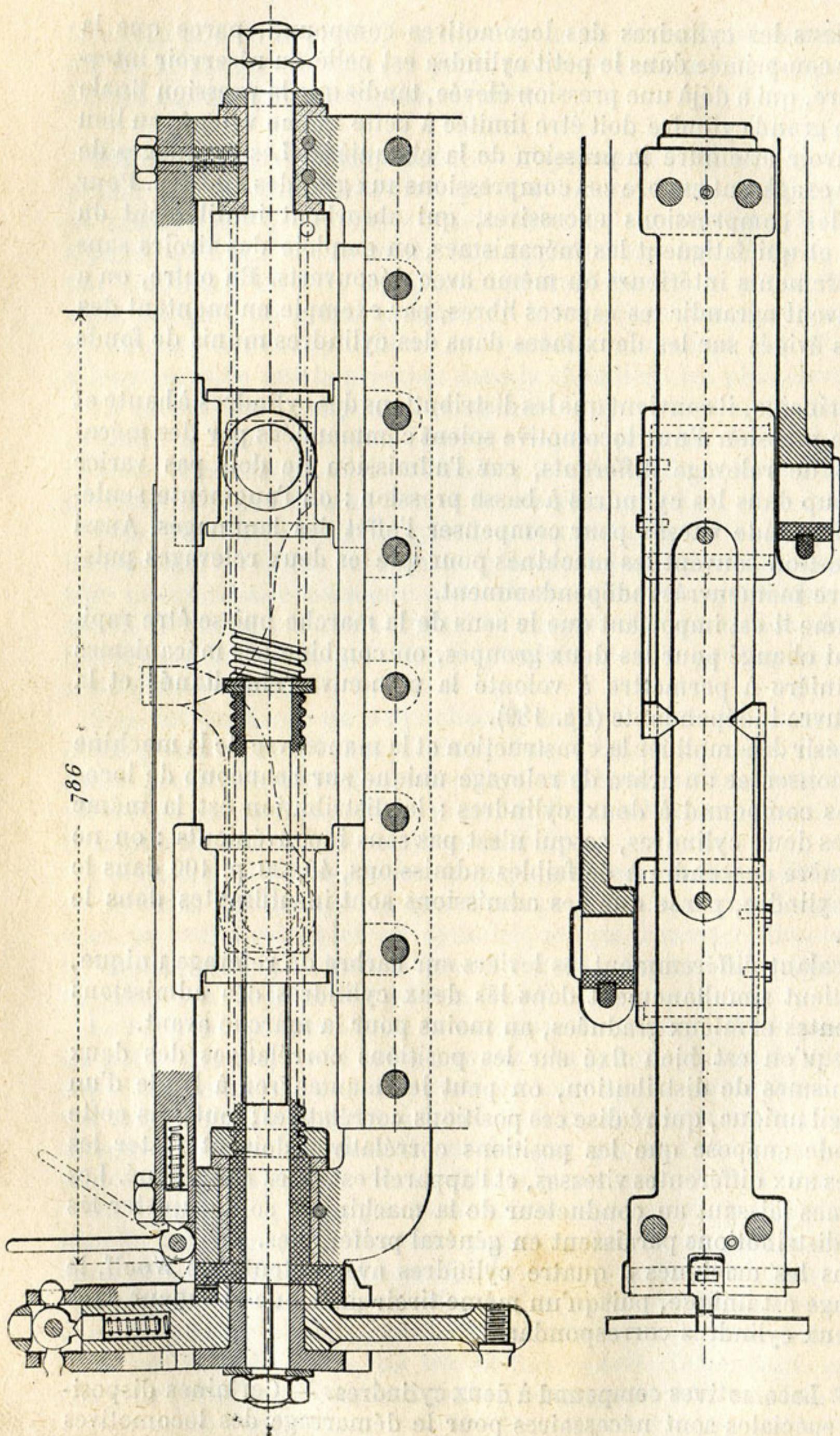


Fig. 189. — Appareil de changement de marche des locomotives compound à quatre cylindres et à trois essieux couplés des chemins de fer du Midi : les deux vis commandent chacune un arbre de relevage ; un volant unique permet de les tourner ensemble ou séparément.

compound à deux cylindres, car les conditions de mise en marche ne restent plus les mêmes qu'avec deux cylindres indépendants. Dans les deux cas, les deux cylindres attaquent deux manivelles calées à angle droit sur l'essieu. Si la manivelle du cylindre à haute pression est arrêtée dans une position telle qu'il n'entre pas de vapeur dans ce cylindre, ou si l'effort de la vapeur sur le piston est insuffisant, il faut introduire directement la vapeur dans le réservoir intermédiaire, le plus souvent à une tension réduite, pour alimenter le cylindre à basse pression. Ce cylindre se trouve placé, pour le démarrage, comme le serait celui d'une machine à deux cylindres simples; mais l'introduction de vapeur dans le réservoir réagit sur le premier piston; elle pénètre par l'échappement du petit cylindre et y aug-

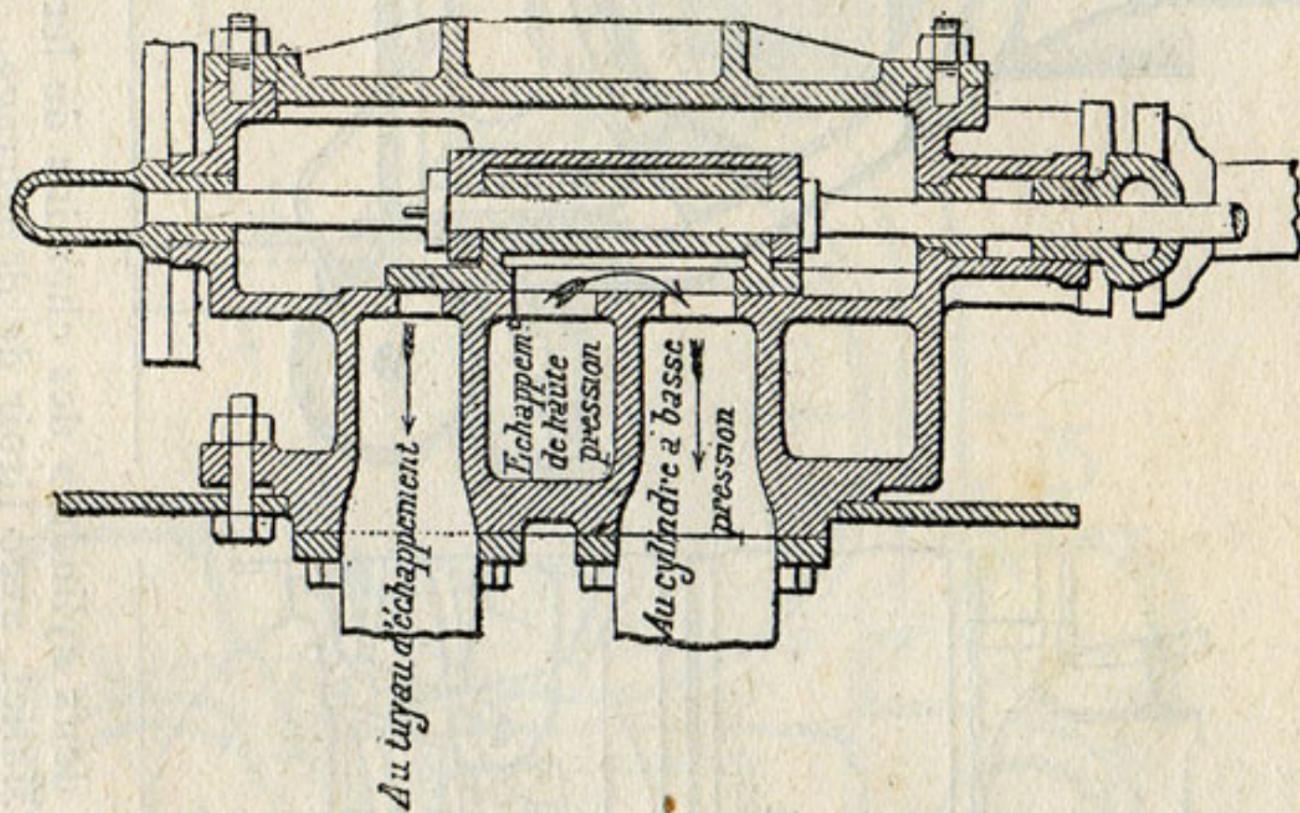


Fig. 190. — Tiroir de démarrage de la locomotive Mallet à deux cylindres, disposé pour la marche en compound; l'échappement du petit cylindre est dirigé dans le réservoir intermédiaire. En déplaçant ce tiroir vers la gauche, on dirige au dehors l'échappement du petit cylindre, et le réservoir intermédiaire reçoit directement la vapeur.

mente la contre-pression. Si le petit piston est arrêté dans la zone de détente, non seulement il ne reçoit pas l'action motrice de la vapeur de la chaudière, mais encore il est poussé à contre-sens par la vapeur du réservoir. Cette action affaiblit beaucoup l'effort de démarrage.

On obvie à cet inconvénient de diverses manières. On peut, comme l'a fait M. Mallet, séparer complètement les deux cylindres, en ouvrant un échappement auxiliaire au cylindre à haute pression (fig. 190 et 191). Le cylindre à basse pression reçoit alors directement la vapeur de la chaudière, convenablement détendue, par le laminage à travers un orifice étroit ou dans un détendeur, qui assure une pression déterminée.

L'échappement direct du petit cylindre n'est pas indispensable :

souvent on se contente d'un simple clapet entre le conduit d'échappement du petit cylindre et le réservoir (fig. 192), clapet qui empêche

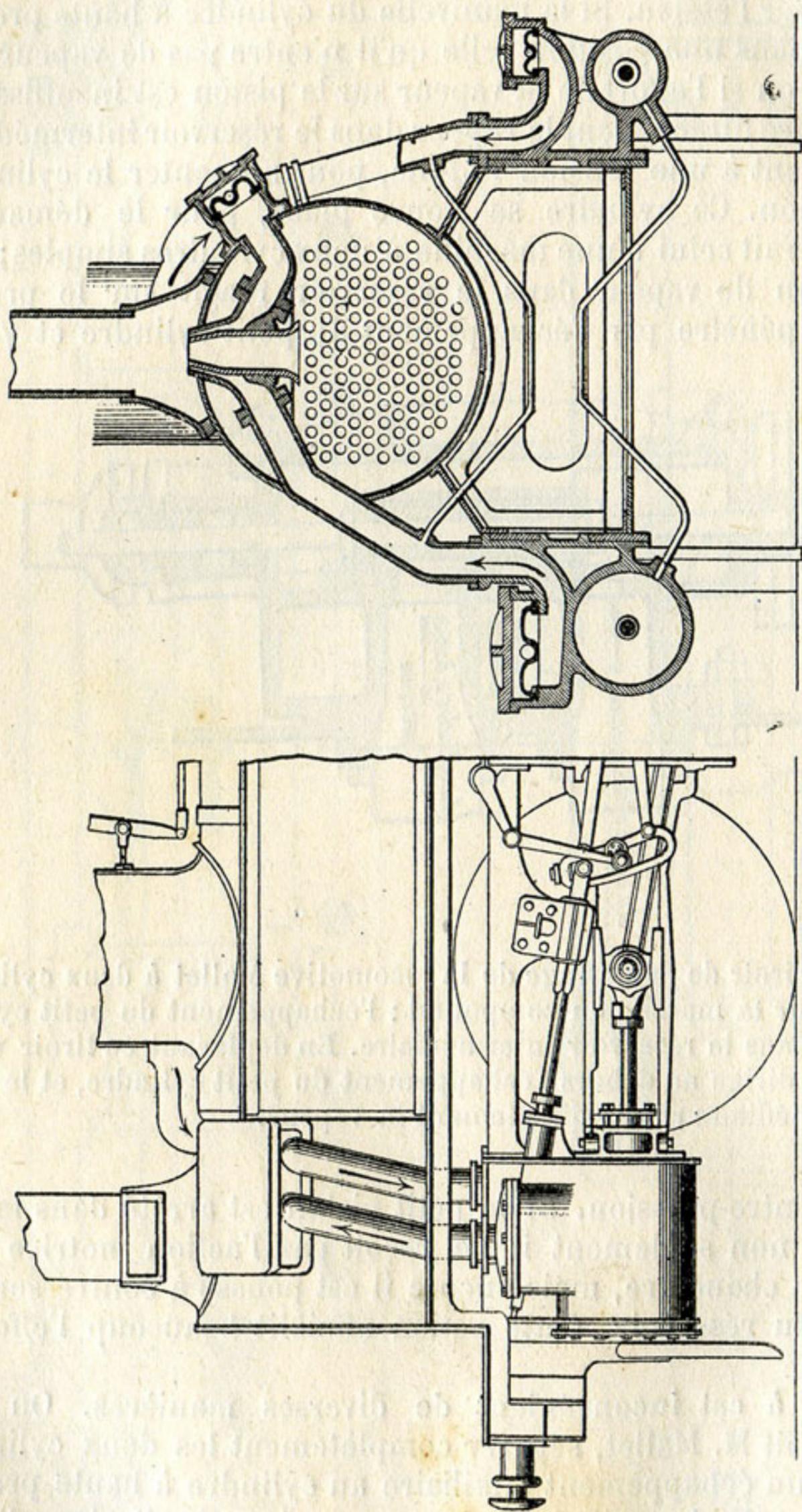


Fig. 191. — Locomotive compound à deux cylindres des chemins de fer de Bayonne à Biarritz, du système Mallet, avec tiroir de démarrage.

che le retour contre le petit piston de la vapeur admise directement au réservoir ; dès que les roues commencent à tourner et que l'échappement du petit cylindre se produit, ce clapet doit être rouvert ou se rouvrir spontanément. Cette disposition a été appliquée

sur un grand nombre de locomotives en Allemagne : elle a été étudiée par les ingénieurs von Borries et Worsdell.

On supprime même parfois les valves d'interception, en se contentant de l'admission directe au grand cylindre. Dans ce cas, un moyen d'annuler l'action défavorable, avec certaines positions du petit piston, de la vapeur admise directement au réservoir, consiste

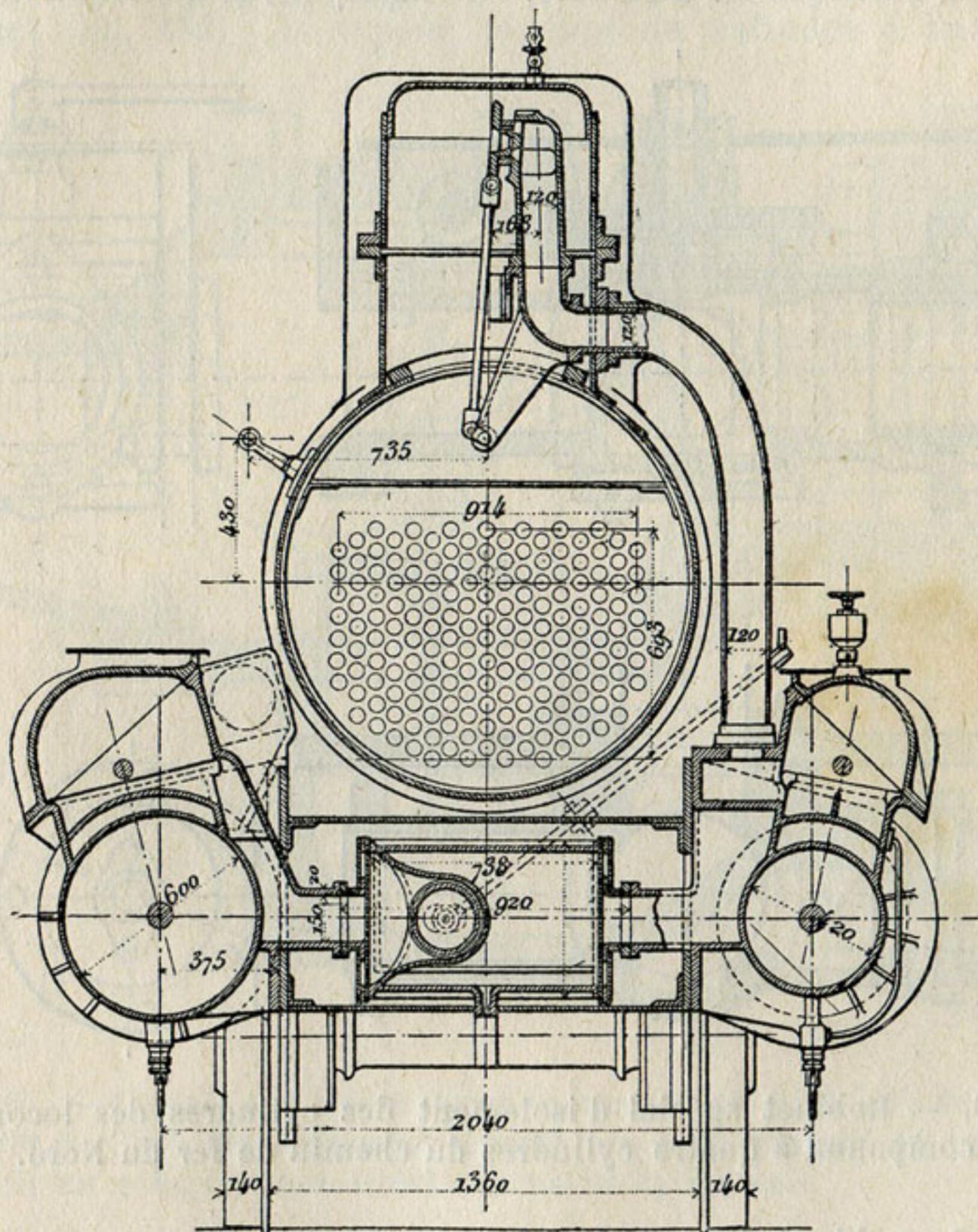


Fig. 192. — Locomotive compound express de l'État prussien ; coupe transversale par les cylindres, avec valve d'interception.

à faire communiquer les deux côtés du petit cylindre. C'est ce qu'a obtenu M. Lindner, sur les locomotives de l'État saxon, en perçant de petits trous dans les bandes intérieures du tiroir à haute pression ; la vapeur du réservoir pénètre alors sur les deux faces du petit piston, lorsque le tiroir n'est pas placé dans la position d'admission sur une face. Les trous sont assez petits pour n'exercer qu'une action insignifiante dans la marche normale de la machine. Le robinet d'admission directe est commandé par le mécanisme

de relevage, de manière à ne laisser passer la vapeur que lorsque le levier de changement de marche est à l'un de ses fonds de course.

Avec une distribution pouvant donner des admissions pendant les 90 centièmes de la course du piston, le simple envoi direct de vapeur dans le réservoir intermédiaire est suffisant. C'est ce qu'a réalisé en Autriche M. Gœlsdorf, en employant la distribution Wals-

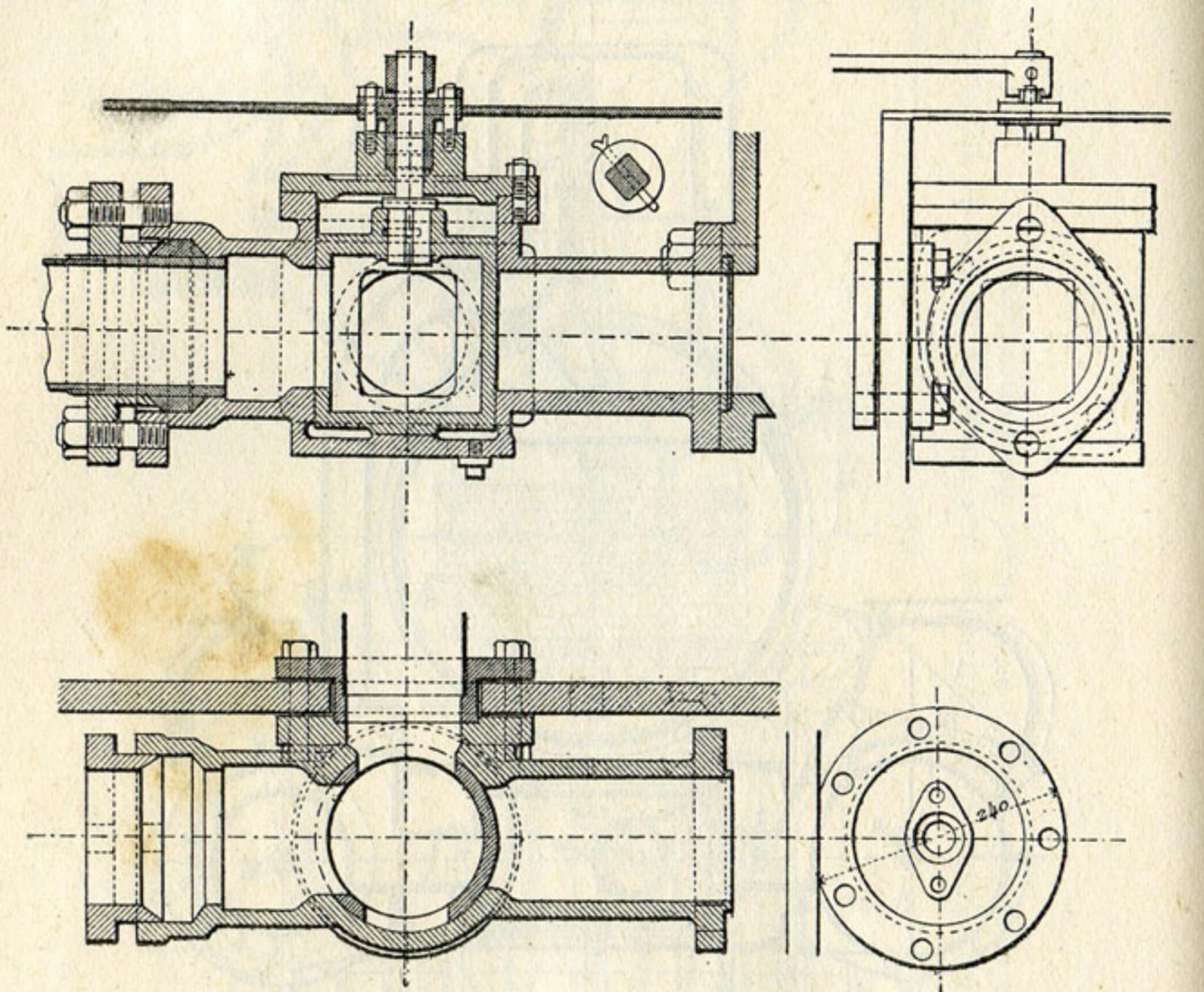


Fig. 193. — Robinet spécial d'isolement des cylindres des locomotives compound à quatre cylindres du chemin de fer du Nord.

chaert. Le robinet d'admission directe est même supprimé, l'entrée de vapeur dans le réservoir se produisant par de petites ouvertures spéciales ménagées sur la table des lumières du cylindre à basse pression. Ces ouvertures ne sont démasquées que lorsque la course du tiroir de ce cylindre dépasse celle qui correspond à l'admission de 50 à 55 p. 100.

104. Locomotives compound à trois et à quatre cylindres. — Quand les locomotives compound ont plus de deux cylindres, on se contente quelquefois d'un simple envoi direct de vapeur dans le réservoir intermédiaire pour le démarrage. Il est bon de brancher la prise de vapeur, pour cette admission spéciale, sur celle des

cylindres à haute pression plutôt que directement sur la chaudière, afin que la fermeture du régulateur soit une garantie contre la mise en marche intempestive de la locomotive.

Souvent on permet la marche à simple expansion de tous les cylindres, en donnant non seulement une admission directe aux cylindres à basse pression, mais en ménageant un échappement auxiliaire pour la haute pression. On emploie, par exemple, un robinet (fig. 193) : la vapeur, sortant du cylindre à haute pres-

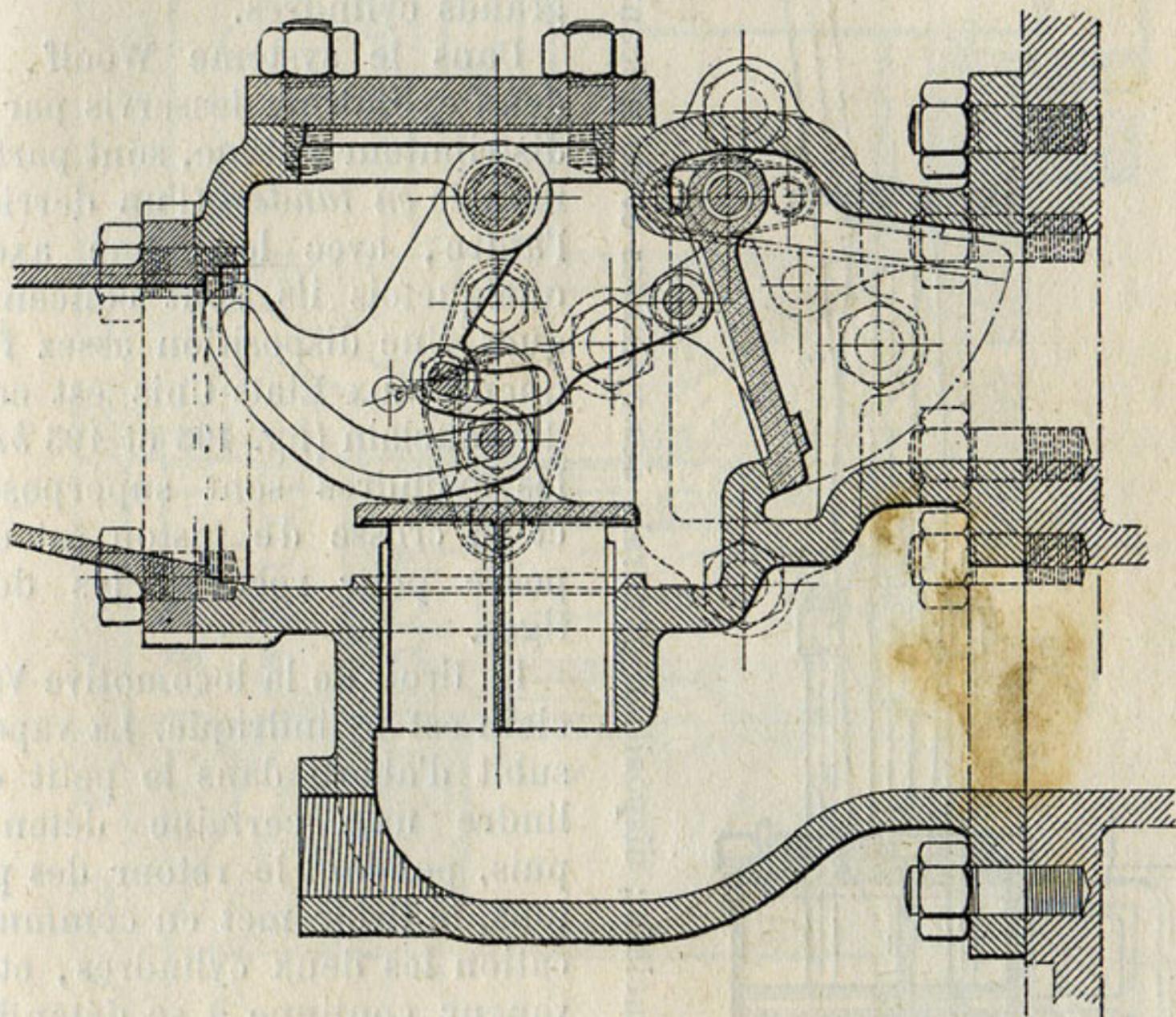


Fig. 194. — Clapets des locomotives compound n^{os} 3401-3415 des chemins de fer de l'Est, disposés pour séparer les deux groupes de cylindres et ouvrir un échappement direct aux petits cylindres.

sion, se rend directement dans la tuyère d'échappement quand ce robinet est dans la position figurée. Dans une autre position, ce robinet ferme l'échappement direct, et ouvre la communication avec la boîte à vapeur du grand cylindre. La manœuvre se fait à l'aide d'un petit servo-moteur à vapeur ou à air comprimé.

Dans les locomotives à trois essieux couplés et à bogie des chemins de fer de l'Est, l'échappement des deux cylindres à haute pression est dirigé dans une boîte commune, placée au milieu de la machine (fig. 194); cette boîte est munie d'un clapet et d'une soupape, que manœuvre un arbre unique : la soupape ouvre un échappement

direct à l'extérieur, tandis que le clapet (à droite de la figure) donne la communication normale avec la boîte à vapeur des grands cylindres. Lorsqu'on veut faire fonctionner séparément les deux groupes de cylindres, on ouvre une prise de vapeur spéciale sur la chaudière pour alimenter les grands cylindres.

Dans le système Woolf, les deux cylindres, desservis par un distributeur unique, sont parfois montés *en tandem* (l'un derrière l'autre, avec le même axe); quelquefois ils sont concentriques. Une disposition assez fréquente aux États-Unis est celle de Vaucrain (fig. 195 et 195 bis): les cylindres sont superposés, et la crosse de piston est disposée pour recevoir les deux tiges.

Le tiroir de la locomotive Vaucrain est cylindrique. La vapeur subit d'abord dans le petit cylindre une certaine détente; puis, pendant le retour des pistons, le tiroir met en communication les deux cylindres, et la vapeur continue à se détendre, en passant dans le second cylindre, plus grand que le premier. Enfin l'échappement se fait au dehors. Pour le démarrage, on envoie directement la vapeur aux grands cylindres.

105. Emploi des locomotives compound. — Les locomotives compound, ou du système Woolf, se sont beaucoup répandues depuis quelques années, en Europe et en Amérique. Au commencement de l'année 1897, on en estimait le nombre à 5.000 environ, tandis qu'un état dressé en

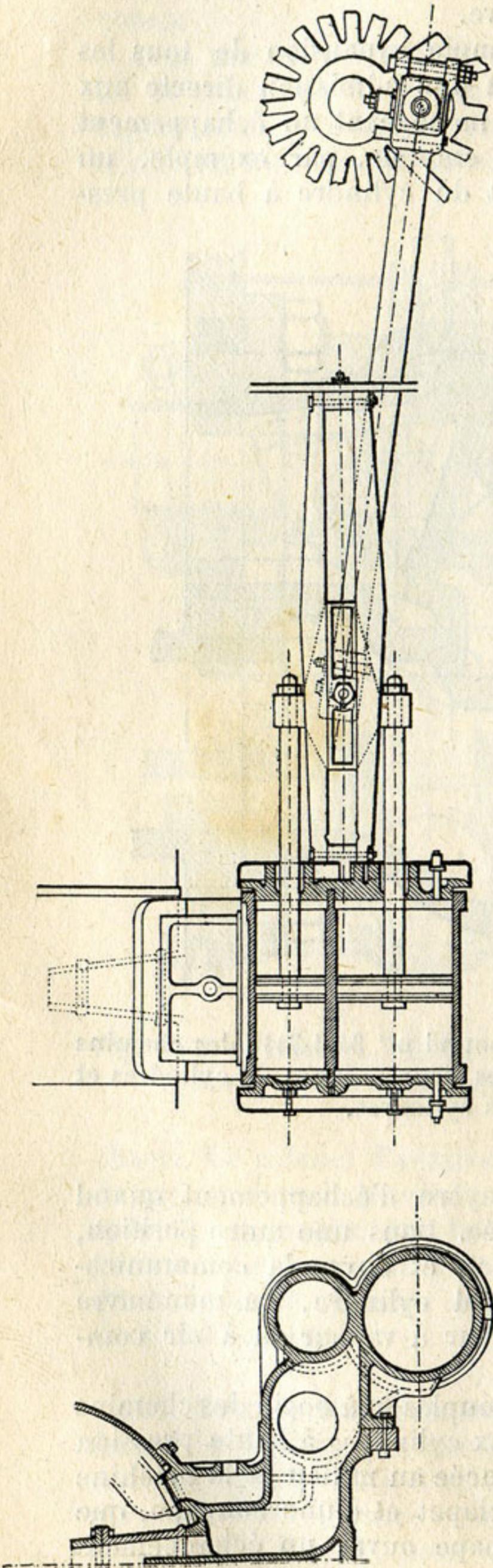


Fig. 195. — Locomotive de Vaucrain; disposition générale des cylindres et du mécanisme.

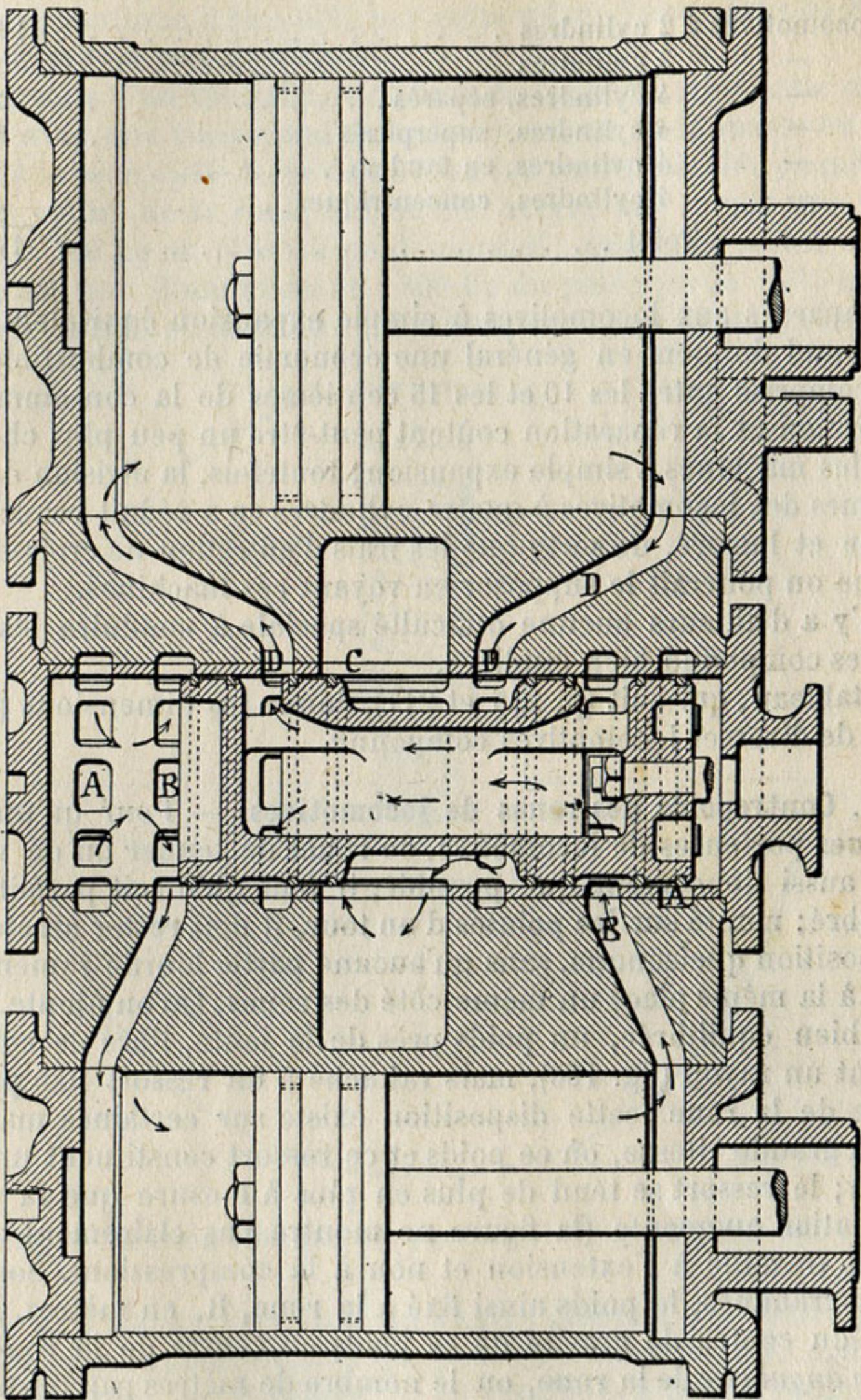


Fig. 195 bis. — Coupe longitudinale développée par les cylindres et le tiroir cylindrique de la locomotive Vaucain : en A, arrivée de la vapeur, qui pénètre en B, dans le petit cylindre, sur la face gauche du piston (dans la position figurée) ; la cavité centrale du tiroir cylindrique met en communication la face droite du petit piston avec la face gauche du grand piston ; enfin l'échappement du grand cylindre se fait en D et en C.

juin 1892, et comprenant un certain nombre de machines pour tramways, en comptait 1858, savoir :

Locomotives à 2 cylindres	1 371
— 3 cylindres	108
— 4 cylindres, séparés	228
— 4 cylindres, superposés	115
— 4 cylindres, en tandem	29
— 4 cylindres, concentriques	7
Total	<u>1 858</u>

Comparées aux locomotives à simple expansion équivalentes, les compound donnent en général une économie de combustible, souvent comprise entre les 10 et les 15 centièmes de la consommation. L'entretien et la réparation coûtent peut-être un peu plus cher que pour les machines à simple expansion; toutefois, la division des mécanismes des locomotives à quatre cylindres en a réduit beaucoup la fatigue et l'usure, de sorte que les frais d'entretien ne croissent pas comme on pourrait le supposer en voyant ces machines.

Il n'y a d'ailleurs aucune difficulté spéciale à conduire les locomotives compound bien étudiées.

Le tableau, qui suit (p. 216 et 217), donne les dimensions principales de diverses locomotives compound.

106. Contrepoids des roues de locomotives. — Pour qu'un train de roues porteuses de locomotive, de roues de tender ou de wagon, roule aussi doucement que possible, il faut qu'il soit parfaitement équilibré; monté sur les pointes d'un tour, il doit rester arrêté dans une position quelconque, sans qu'aucune partie lourde ramène toujours à la même place un même côté des roues. Qu'on ajoute, à une roue bien équilibrée, un poids près de la jante, libre de coulisser suivant un rayon (fig. 196), mais rattaché à un ressort fixé près du centre de la roue (cette disposition existe sur certaines machines fixes à grande vitesse, où ce poids et ce ressort constituent un *régulateur*); le ressort se tend de plus en plus à mesure que la vitesse de rotation augmente (la figure ne montre pas clairement que ce ressort travaille à l'extension et non à la compression). Soient P, en kilogrammes, le poids ainsi fixé à la roue, R, en mètres, la distance du centre de gravité de ce poids au centre de la roue, v la *vitesse angulaire* de la roue, ou le nombre de mètres parcourus pendant une seconde, en tournant en rond, par un point situé à un mètre du centre. La force qui tend le ressort est donnée par la formule $\frac{P}{9,81} \times R \times v^2$, où v^2 est le *carré* de v , c'est-à-dire le produit de v par v . Par exemple, avec un poids de 50 kg à une distance de 0,750 m du centre, et une vitesse angulaire de 20 m (ce qui fait un peu plus de 3 tours par seconde), la force cherchée est environ 1 500 kg. Le ressort ainsi tendu est attaché près du centre de la roue, et il tire avec une force égale son point d'attache. Quand il n'y a pas de ressort, et quand le poids est fixé à la roue, le centre

de la roue continue à être tiré, par cette même force, dans la direction de la masse non équilibrée.

Si une roue d'un véhicule de chemin de fer porte ainsi cette masse et roule avec une vitesse uniforme, au moment où la masse est vers le bas de la roue, cette force de 1 500 kg (ou autre calculée de même), tirant le centre de la roue, fait qu'elle exerce sur le rail une pression de 1 500 kg en plus du poids normal; quand la masse est en haut, c'est une diminution de 1 500 kg du poids sur le rail; quand elle est d'un côté ou de l'autre du centre, sur l'horizontale, c'est une

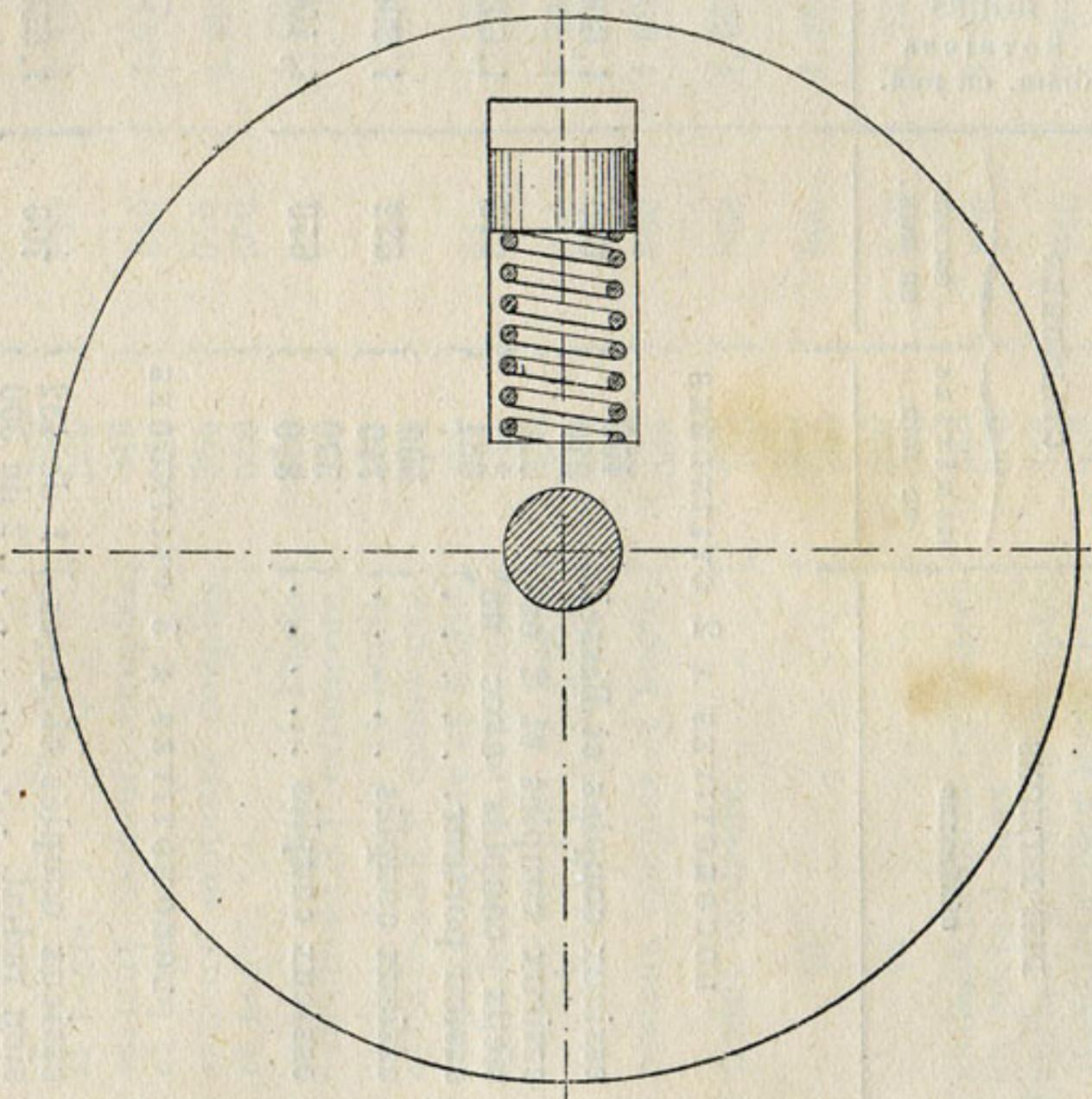


Fig. 196. — Tension d'un ressort par un poids rapporté sur une roue.

poussée de 1 500 kg vers l'une ou l'autre glissière des boîtes. Cette force, qui varie rapidement et qui peut être considérable, agit ainsi sur le rail et sur les glissières : il en résulte des usures inégales du bandage (qui s'use ou s'écrase au moment de la plus forte pression), et des vibrations qui se transmettent au véhicule.

On fait disparaître cet effet fâcheux, en ajoutant une masse égale à la même distance du centre, symétriquement placée, c'est-à-dire à l'autre extrémité du diamètre; mais il n'est pas indispensable que les deux masses opposées soient égales; il suffit que le produit du poids par le rayon du centre de gravité, $P \times R$, soit le même; une lourde masse voisine du centre est compensée par une masse opposée plus légère, fixée près de la jante.

Tableau des dimensions de quelques locomotives compound.

DÉSIGNATION	DISPOSITIONS GÉNÉRALES	CYLINDRES		ROUES MOTRICES diam. en mm.	PRESSION initiale effective en kg par cm ² .	SURFACE DE GRILLE en m ² .	SURFACE DE CHAUFFE en m ² .
		DIA MÈ T R E S en mm.	COURSE en mm.				
LOCOMOTIVES A 2 CYLINDRES							
Union Suisse (1890-1892), 2 cylindres extérieurs	3 essieux couplés et Bissel.	450 640	650	1,600	12	1,70	139
Chemin Russe de Grazi-Traristin, 2 cylindres extérieurs, chauffage au pétrole	3 essieux couplés et 2 es- sieux couplés avec un essieu porteur.	470 651	610	1,602	10	1,58	115
État autrichien, système Goelsdorf (1893)	3 essieux couplés	500 740	632	1,290	12	1,80	132
Est français, 2 cylindres intérieurs (1892)	3 essieux couplés	530 850	650	1,400	13	2,59	120
LOCOMOTIVES A 3 CYLINDRES							
Nord, 1889, 1 cylindre à H. P. inté- rieur, 2 cylindres à B. P. exté- rieurs	3 essieux couplés et 1 es- sieu radial.	1 de 432 2 de 500	700	1,650	14	2,091	114
Jura Simplon, construction de la Société suisse de construction de locomotives de Winterthur	3 essieux couplés et 1 es- sieu porteur.	1 de 500 2 de 540	600	1,520	14	2,30	140

P.-L.-M., grande vitesse, série C) 61-100	2 essieux couplés et bogie.	340 540	620	2,000	15	2,48	190
P.-L.-M., marchandises (1893), séries) 3.211-3.260 et 3.301-3.362	4 essieux couplés, cylindres à B. P. en porte à faux.	360 590	650	1,500	15	2,45	155
Nord, grande vitesse (1886, n° 701), construction de la Société alsacienne	2 essieux moteurs indépendants et 1 essieu porteur.	330 460	610	2,100	11	2,30	103
Nord, grande vitesse (1896), Société) alsacienne	2 essieux moteurs couplés et bogie.	340 530	640	2,130	15	2,30	172
Ouest, grande vitesse (1898), Société) alsacienne	2 essieux moteurs couplés et bogie.	340 530	640	2,040	14	2,40	135
Est, grande vitesse (1898)	2 essieux moteurs couplés et bogie.	350 550	640 660	2,090	15	2,52	185
Midi (1894), construction de la So- ciété alsacienne	3 essieux couplés et bogie, cylindres à H.P. extérieurs.	350 550	640	1,600 et 1,750	14	2,46	182,5
Forêt-Noire (1896), constructeur, Maffei	3 essieux couplés et bogie, cylindres à B.P. extérieurs.	380 610	660	1,640	13,5	2,50	128
Est (1898), nos 3.401-3.415	3 essieux couplés et bogie, cylindres à H.P. extérieurs.	350 550	640	1,750	15	2,51	205
Ouest (1899), construction de la) Société alsacienne	3 essieux couplés et bogie, cylindres à H.P. extérieurs.	350 550	640	1,720	14	2,45	194
Chemin de fer du Gothard, cons- truction de Winterthur	3 essieux couplés et bogie.	350 530	600	1,600	14	2,3	150
Mallet, articulée, voie de 1 ^m	2 trains moteurs.	250 490	550	1,05	»	1,40	80
Mallet, articulée, États de Bade et de Prusse	id.	390 600	600	1,26	»	1,95	145
Mallet, articulée, chemin de fer du Gothard.	id.	400 580	640	1,23	»	2,20	154
Nord, à cylindres en tandem (dé- tente de Woolf)	4 essieux couplés, cylindres en porte à faux	380 660	650	1,300	10	2,08	126
Système Vaucrain, construction de Baldwin (détente de Woolf).	Express, 2 essieux couplés (Central of New Jersey Ry.).	330 559	610	1,981	12,6	3,55	150
	Marchandises, 4 essieux cou- plés.	356 610	610	»	12,6	2,90	174
	Marchandises, 5 essieux cou- plés (foyer Wootten).	306 686	711	»	12,6	8,31	227

C'est ainsi qu'on équilibre, dans les locomotives, les pièces tournantes, boutons de manivelle, coudes d'essieux, têtes de bielles motrices, articulées sur le bouton de manivelle, bielles d'accouplement, au moyen de contrepoids. On trouve une petite complication dans le calcul de ces contrepoids, parce que les masses qu'il s'agit d'équilibrer ne sont pas toujours sur chacune des roues mêmes, notamment les coudes d'essieu; il faut commencer par *décomposer* les forces entre les roues : sur un des coudes (fig. 197) une force F , en kilogrammes, est représentée par la longueur AD ; l'effet est le même que celui des deux forces f et f' , représentées par les longueurs AE et ED , parallèles à la première et placées chacune dans le plan moyen d'une des roues, E étant obtenu en prenant BD' égal à AD et en joignant D' à C . On décompose de même l'autre force F , provenant du second coude, en deux autres composantes f' et f . Dans chacune des roues on a ainsi deux forces perpendiculaires f et f' , qu'on peut enfin remplacer par une force f'' , que la diagonale du rectangle ayant f et f' pour côtés représente en grandeur et direction.

Quand la force F , égale à AD , est à l'extérieur des roues (fig. 198), une construction analogue donne dans la roue la plus voisine une force f , égale à AE , plus grande que F , et dans l'autre roue une force f' ou ED dirigée en sens contraire : on a de même la composante f'' dans chaque roue. Pour ce calcul, on suppose concentrée sur chaque bouton de manivelle la moitié du poids de la bielle d'accouplement qu'il porte.

107. Équilibre des pièces à mouvement alternatif. — L'application de contrepoids, pour équilibrer les pièces tournantes, est simple et naturelle; mais on leur a demandé davantage. Outre les pièces qui tournent, les pistons, avec leur tige et leur tête, ont un mouvement rectiligne alternatif, ou mouvement de va-et-vient sur une ligne droite. Les bielles motrices se meuvent d'une façon moins simple, puisque la grosse tête tourne avec le bouton de manivelle, tandis que la petite tête se déplace comme le piston; on suppose habituellement que tout le poids du corps de la bielle se partage entre ses deux extrémités.

Ces pièces qui se déplacent en ligne droite tendent à faire osciller la locomotive en long, parallèlement aux rails : quand cette oscillation se produit, on dit que la machine a un mouvement de recul. Au recul s'ajoute une autre oscillation qu'on remarque plus souvent, le lacet, ou pivotement de la machine autour d'un axe vertical; ce pivotement porte les roues des essieux extrêmes alternativement contre les rails de droite et de gauche. S'il n'y avait qu'un seul mécanisme placé au milieu de la machine, il ne produirait que le recul, sans lacet; il en serait de même si les deux mécanismes attaquaient deux manivelles parallèles, et non calées à angle droit; le

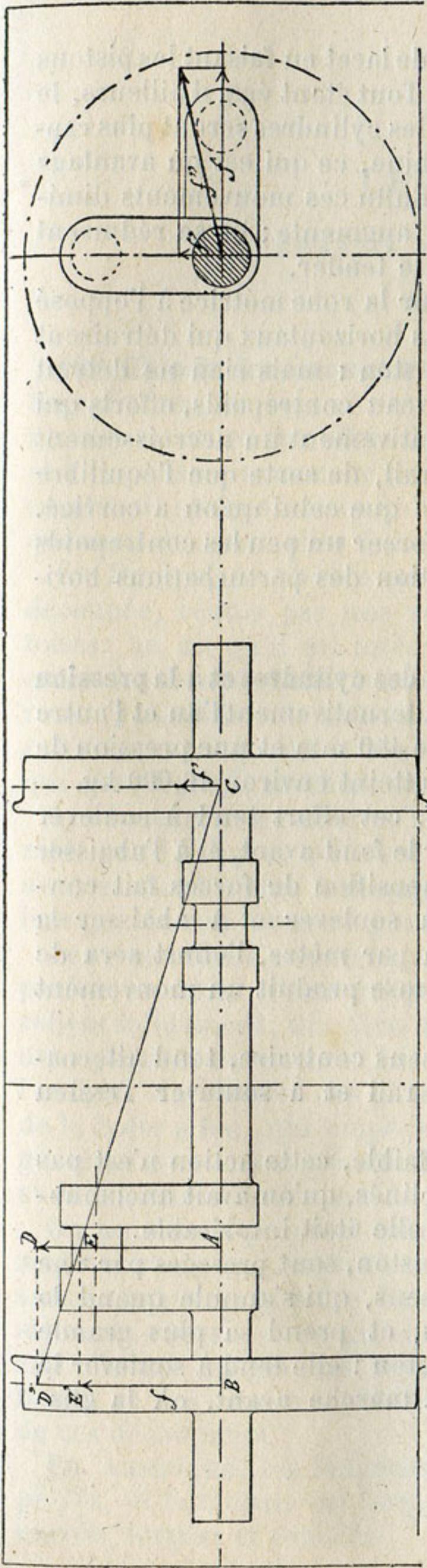


Fig. 197. — Détermination des contrepois équilibrant des masses tournantes comprises entre les roues.

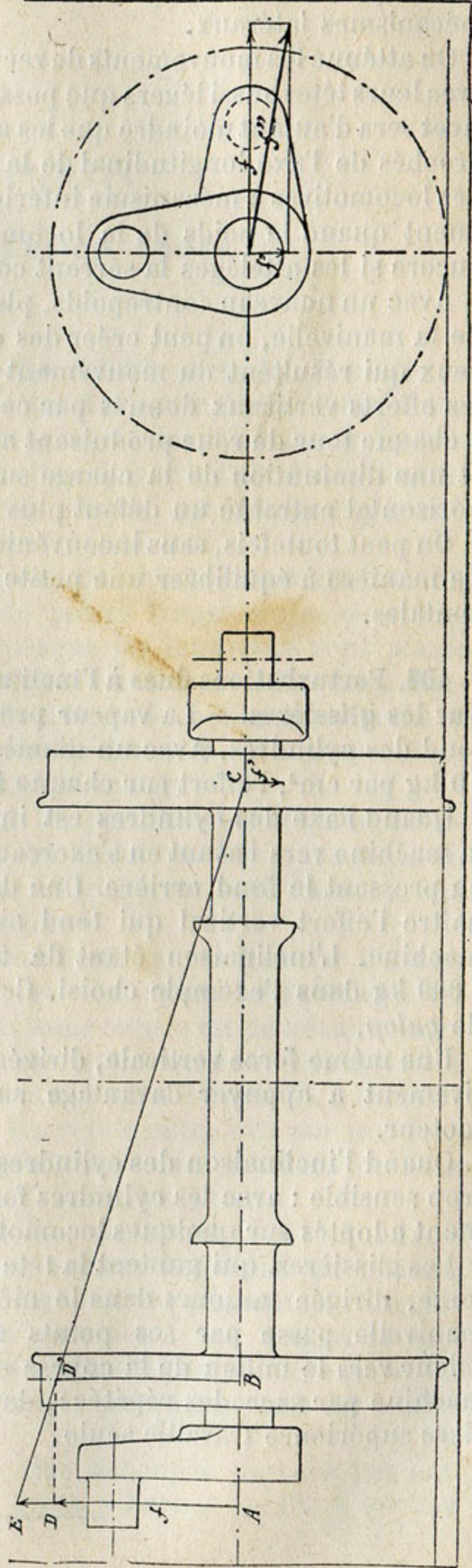


Fig. 198. — Détermination des contrepois équilibrant des masses tournantes placées à l'extérieur des roues.

lacet a pour cause l'inégalité au même instant de l'action des deux mécanismes latéraux.

On atténue les mouvements de recul et de lacet en faisant les pistons avec leurs têtes aussi légers que possible. Tout étant égal d'ailleurs, le lacet sera d'autant moindre que les axes des cylindres seront plus rapprochés de l'axe longitudinal de la machine, ce qui est un avantage des locomotives à mécanisme intérieur. Enfin ces mouvements diminuent quand le poids de la locomotive augmente ; ils se réduisent encore si les attelages la serrent contre le tender.

Avec un nouveau contrepoids, placé sur la roue motrice à l'opposé de la manivelle, on peut créer des efforts horizontaux qui détruisent ceux qui résultent du mouvement du piston : mais rien ne détruit les efforts verticaux donnés par ce nouveau contrepoids, efforts qui à chaque tour de roue produisent alternativement un accroissement et une diminution de la charge sur le rail, de sorte que l'équilibre horizontal entraîne un défaut plus grave que celui qu'on a corrigé.

On peut toutefois, sans inconvénient, forcer un peu les contrepoids de manière à équilibrer une petite fraction des perturbations horizontales.

108. Perturbations dues à l'inclinaison des cylindres et à la pression sur les glissières. — La vapeur presse alternativement l'un et l'autre fond des cylindres. Avec un diamètre de 450 mm et une pression de 10 kg par cm^2 , l'effort sur chaque fond atteint environ 16.000 kg.

Quand l'axe des cylindres est incliné, cet effort tend à soulever la machine vers l'avant en s'exerçant sur le fond avant, et à l'abaisser en pressant le fond arrière. Une décomposition de forces fait connaître l'effort vertical qui tend ainsi à soulever et à abaisser la machine. L'inclinaison étant de 10 cm par mètre, l'effort sera de 1 600 kg dans l'exemple choisi. Cette cause produit un mouvement de *galop*.

Une même force verticale, dirigée en sens contraire, tend alternativement à appuyer davantage sur le rail et à soulever l'essieu moteur.

Quand l'inclinaison des cylindres est faible, cette action n'est pas trop sensible : avec les cylindres fort inclinés, qu'on avait anciennement adoptés sur quelques locomotives, elle était intolérable.

Les glissières, qui guident la tête du piston, sont pressées par une force, dirigée toujours dans le même sens, qui s'annule quand la manivelle passe par ses points morts, et prend sa plus grande valeur vers le milieu de la course du piston : elle tend à soulever la machine par saccades répétées, dans la marche avant, où la glissière supérieure travaille seule.