

## CHAPITRE III

### MÉCANISME

**79. 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*, 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 vient exercer sa pression contre 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 nous considérons au début le piston à un *fond de course*, la 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 à avancer, 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 se détend.

Les physiiciens ont étudié comment varie la pression de la vapeur, quand elle se détend de la sorte ; c'est une étude fort complexe. Le praticien peut se contenter d'une règle simple et suffisamment exacte : au moment où finit l'*admission*, nous avons dans le cylindre un certain volume de vapeur, exerçant une pression connue par centimètre carré : prenons le chiffre de cette pression *absolue* (c'est-à-dire sans déduire la pression de l'atmosphère, qui s'exerce sur l'autre face du piston) et non plus *effective* comme d'habitude, en ajoutant une unité au chiffre de la pression effective en kilogrammes par centimètre carré ; multiplions le *volume*, en *litres*, par ce chiffre de pression absolue. Quand la détente a augmenté le volume de la vapeur, le

produit de ce nouveau volume par la nouvelle pression absolue sera toujours le même.

Par exemple, un cylindre contient 40 litres de vapeur à la pression *effective* de 10 kilogrammes par centimètre carré au commencement de la détente ; la pression *absolue* est de 11 kg ; 40 multiplié par 11 égale 440. Quand le volume est devenu 60 litres, la pression absolue est de 7 kg  $\frac{1}{3}$ , car 60 multiplié par 7  $\frac{1}{3}$  égale 440 ; quand le volume est doublé, ou égal à 80 litres, la pression absolue de la vapeur est de 5<sup>kg</sup>,5.

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.

**80. 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 puis le piston marche souvent très vite. Alors la vapeur entre bien dans le cylindre, mais non en quantité suffisante pour y prendre la même pression que dans la boîte à tiroir. On dit que la vapeur *se lamine*, et il en résulte un abaissement de pression. Le même effet peut se produire 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. 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 du dehors, c'est-à-dire de l'atmosphère ; et même, surtout si la tuyère d'échappement est très serrée, le piston est soumis pendant toute sa course à une *contre-pression* plus grande que la pression de l'atmosphère.

**81. Espaces libres des cylindres.** — Quand le piston est au bout de sa course, il ne touche pas le plateau du cylindre, mais laisse un certain jeu, comme on le voit sur la figure 99 ; sans ce jeu, les fonds de cylindre seraient constamment défoncés ; en outre, la lumière d'admission, jusqu'à la table, communique toujours avec le cylindre ; la capacité totale ainsi formée s'appelle l'*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, chacun des 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 l'espace occupé par le piston, serait de 103 litres ; chaque espace libre est donc le quinzième environ de ce volume.

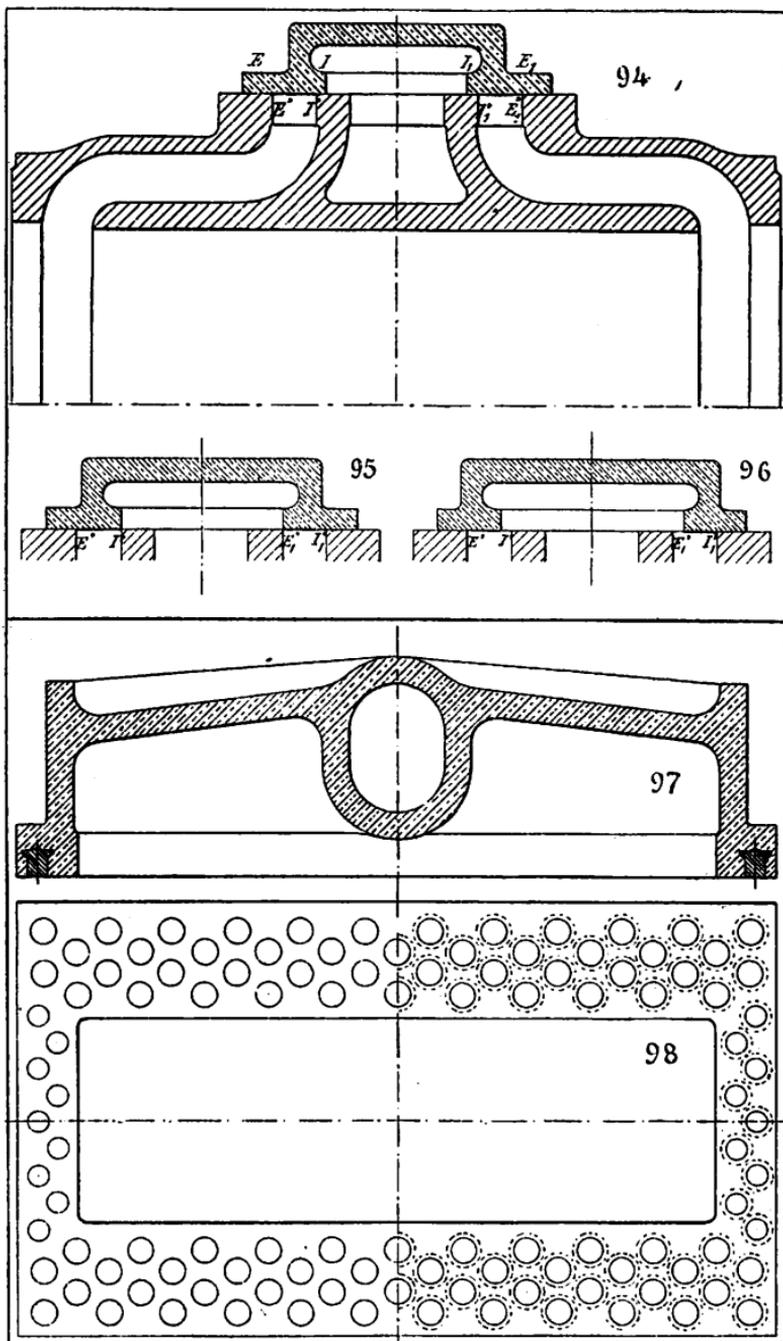


Fig. 94. Tiroir sur la table des lumières. — Fig. 95. Tiroir sans recouvrements intérieurs. — Fig. 96. Tiroir à découverts intérieurs. — Fig. 97 et 98. Tiroir de locomotive avec macarons de métal blanc.

NOTA. — Les lettres  $F_1$  et  $F_1$  sont interverties par erreur sur les figures 95 et 96.

**82. Tiroir.** — Le mécanisme le plus simple pour distribuer la vapeur est le *tiroir* ordinaire des locomotives. Le cylindre présente trois conduits ou *lumières* (fig. 94), deux pour l'admission, aboutissant aux fonds du cylindre, et une au milieu, pour l'échappement, en communication avec l'extérieur. 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*  $E', E'_1$ , des deux lumières d'admission, d'une longueur dite *recouvrement extérieur*. La face plane du tiroir présente en outre un évidement rectangulaire de *hauteur* égale à celle des lumières ; dans sa position moyenne, les bords de cet évidement dépassent un peu les *bords intérieurs*  $I', I'_1$  des lumières, d'une longueur dite *recouvrement intérieur*. Il n'en est pas toujours ainsi : souvent les recouvrements intérieurs sont *nuls* (fig. 95), 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. 96) : dans sa position moyenne, les deux bords intérieurs laissent une ouverture aux deux lumières vers l'échappement. On remarquera, sur les figures 95 et 96, que les lettres  $E'_1$  et  $I'_1$  ont été interverties par erreur.

Les tiroirs de locomotive sont fréquemment en bronze ; leur surface frottante peut être garnie de macarons en régule (fig. 97 et 98). A la compagnie de l'Est, le diamètre de ces macarons est de 14 ou 15 mm sur les grandes bandes, et de 10 à 12 sur les petites. Ils se terminent par une partie conique qui les enracine solidement. La surface des macarons varie du quart au tiers de la surface de portée totale. Certaines locomotives ont des tiroirs en fonte ; l'emploi de la fonte était plus fréquent autrefois qu'aujourd'hui, lorsque la pression de la vapeur n'était pas aussi forte. Avec des pressions modérées, 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, et c'est pourquoi l'on préfère le bronze.

**83. 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*.

Examinons avec attention, sur un modèle ou sur des dessins, la marche du tiroir : prenons le piston à un de ses fonds de course, à gauche par exemple sur la figure 99, en 1 ; suivons-le pendant une course aller et retour, ou un tour de roues de la machine, en nous occupant seulement de ce qui se passe sur le côté gauche. Pendant un

parcours 1 — 2 du piston, le tiroir laisse ouverte la lumière de gauche : 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 dite d'*échappement anticipé*, parce qu'elle commence un peu 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 de nouveau complètement la lumière de gauche et 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 ou la *comprime* : 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 cette place en partie occupée.

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 : mais on trouve qu'en définitive il y a bénéfice.

Enfin, un peu avant que le piston ne soit arrivé exactement à son fond de course, dans une position 6, le tiroir commence à démasquer la lumière pour l'admission, et produit ce qu'on appelle 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 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 l'*avance linéaire du tiroir* : c'est

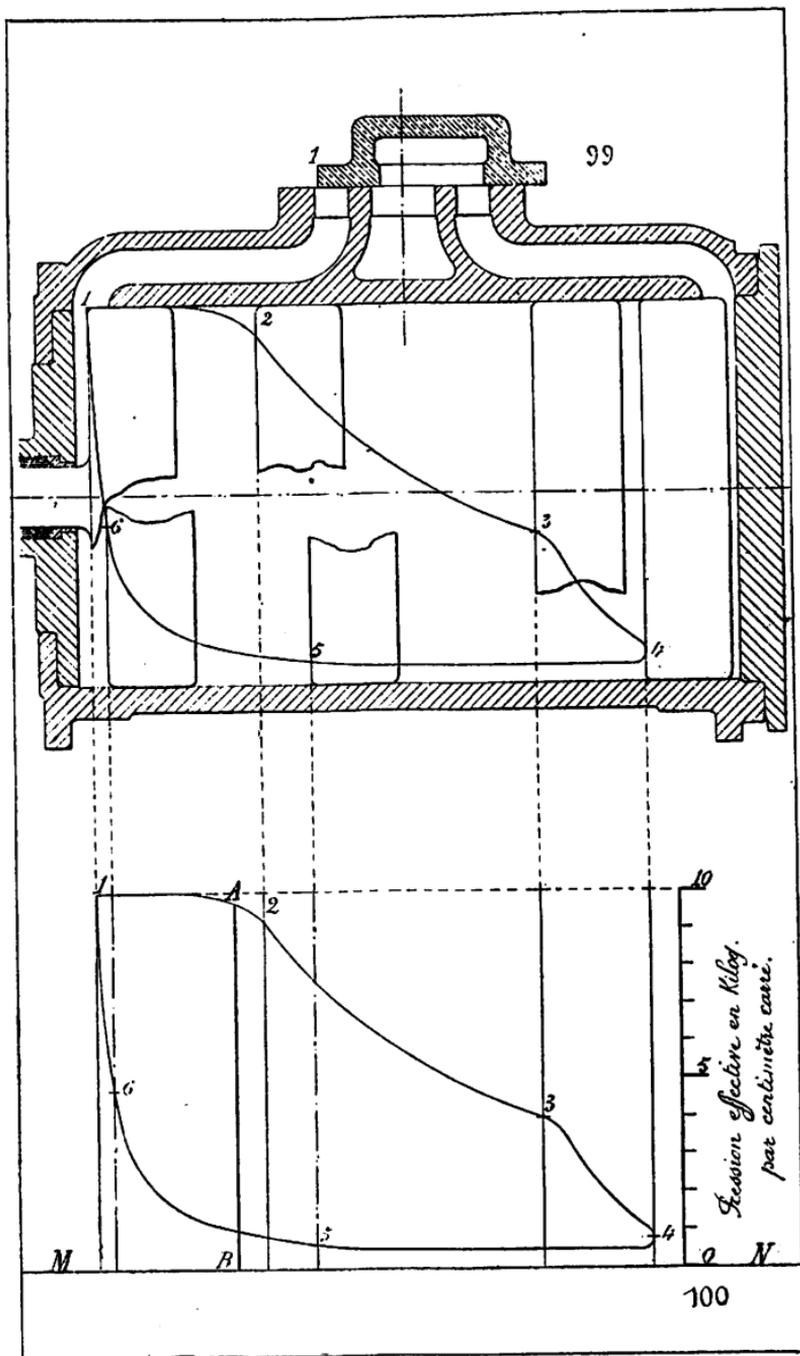


Fig. 99. — Phases de la distribution.  
 Fig. 100. — Diagramme d'indicateur.

la largeur de la fente ainsi ouverte à ce moment. Sur la figure 99, 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 nos figures), pour une course aller et retour, la distribution a les six phases suivantes :

Aller du piston. . . . .	{ Admission.
	{ Détente.
	{ Echappement anticipé.
Retour du piston. . . . .	{ Echappement.
	{ Compression.
	{ Admission anticipée.

Si on considérait l'autre face du piston (le côté droit de nos figures), on trouverait, pour une course complète aller et retour à partir du fond de course à droite, les six mêmes phases pour la distribution de la vapeur.

Chacun des côtés du piston travaille ainsi pour son compte, sans relation avec ce qui se passe sur l'autre côté. 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.

**84. Indicateur et diagrammes.** — On peut bien se rendre 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 ; mais il faut 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* ou chutes de pression dues au passage rapide par des orifices étroits. Pour résoudre ce problème, fort difficile à première vue, on se sert d'un appareil simple et ingénieux, appelé *indicateur* (fig. 101) ; un tout petit cylindre vertical (ayant un diamètre de 20 millimètres) 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 : en retournant l'appareil et en plaçant des poids sur son piston, on voit quelles forces sont nécessaires pour comprimer le ressort de quantités connues : c'est ce qu'on appelle *tarer* le ressort. On peut aussi, à cet effet, monter l'appareil sur une chaudière où l'on puisse faire varier la pression, qu'on mesure avec un bon manomètre étalon. Ayant fait cette tare, et l'indicateur étant monté sur le cylindre d'une machine, si l'on pouvait voir à chaque instant quelle est la compression du ressort, on connaîtrait la pression de la vapeur. Mais

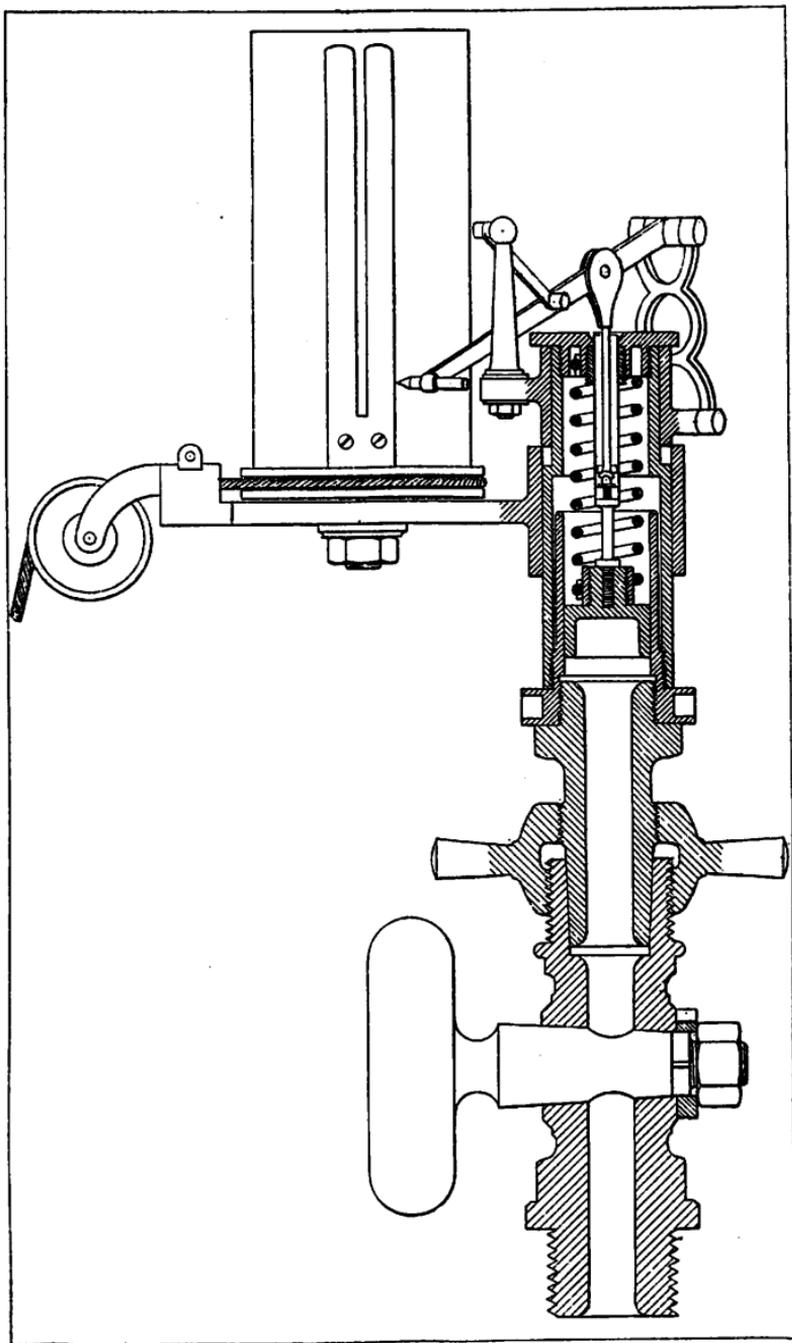


Fig. 401. — Indicateur.

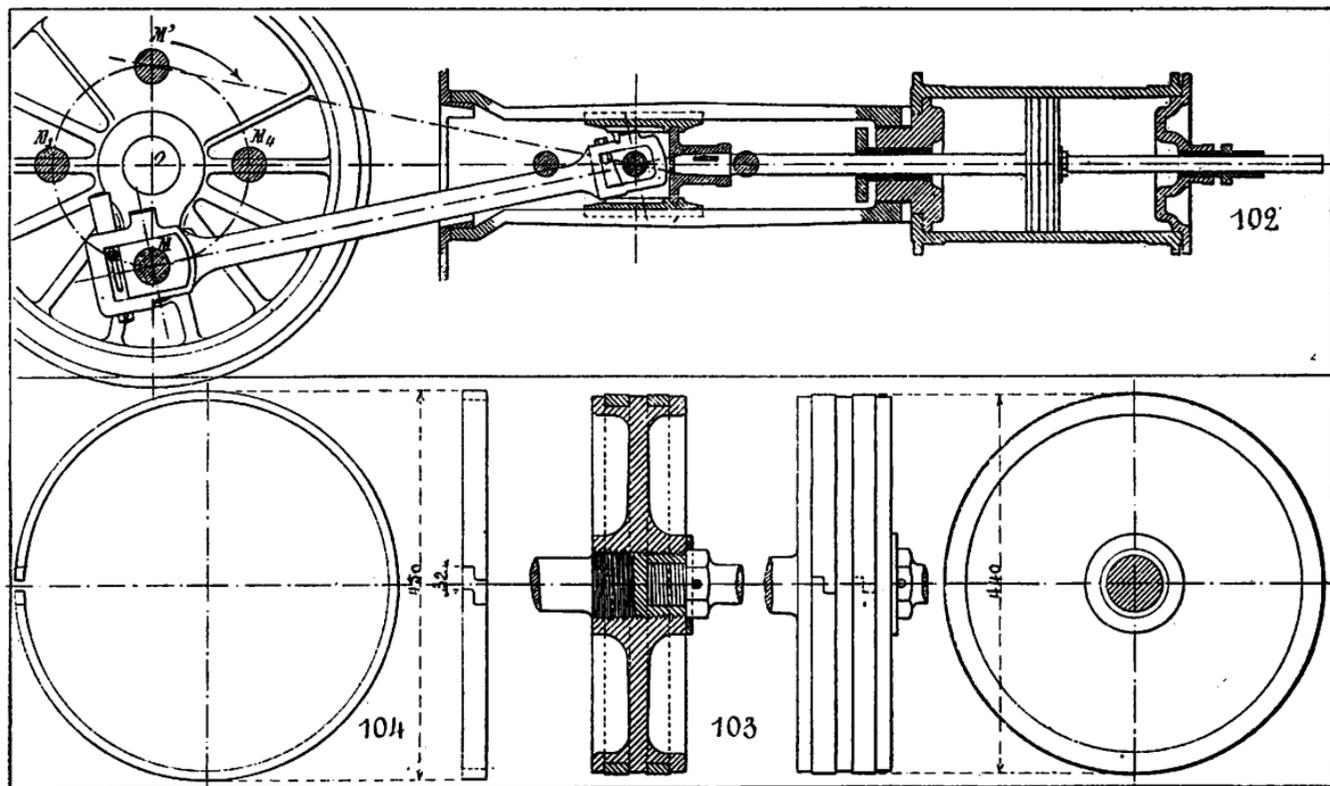


Fig. 102. Transmission du mouvement du piston. — Fig. 103. Piston. — Fig. 104. Segment de piston.

l'observation directe n'est pas possible, surtout quand le piston fait plusieurs courses par seconde. Un crayon est relié au piston de l'indicateur et en trace la position sur une feuille de papier. Si ce papier ne bougeait pas, le crayon laisserait un simple trait vertical, qui n'apprendrait pas grand'chose : aussi rattache-t-on le support du papier à la tête du piston de la locomotive, de manière à ce qu'il se déplace horizontalement comme ce piston. La course du piston étant de 60 ou 65 centimètres, 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 horizontal du papier de l'indicateur permet toujours de connaître la position du piston de la locomotive. Par exemple, si nous prenons le point A, qui est au quart de la longueur du tracé du crayon, dit *diagramme* (fig. 100, p. 121), nous savons qu'à ce moment le piston était également au quart de sa course, et nous savons aussi quelle était la pression effective de la vapeur, ou pression au-dessus de celle de l'atmosphère. M N étant le trait tracé par le 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 et par suite s'annule, A B indique de combien a fléchi le ressort, c'est-à-dire donne la pression *effective* de la vapeur quand le piston de la locomotive a fait le quart de sa course.

Sur un diagramme de locomotive, la partie 1 — 2 est tracée pendant l'*admission*, avec *laminage* surtout vers la fin, quand le tiroir rétrécit l'orifice de 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, mais qui n'est pas tout à fait élémentaire, 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*.

**85. Transmission du mouvement du piston.** — Le piston se meut en ligne droite dans le cylindre et doit faire tourner l'essieu (fig. 102). 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 de piston*, munie de *patins* qui coulisent entre les *glissières*. La *bielle motrice* s'articule

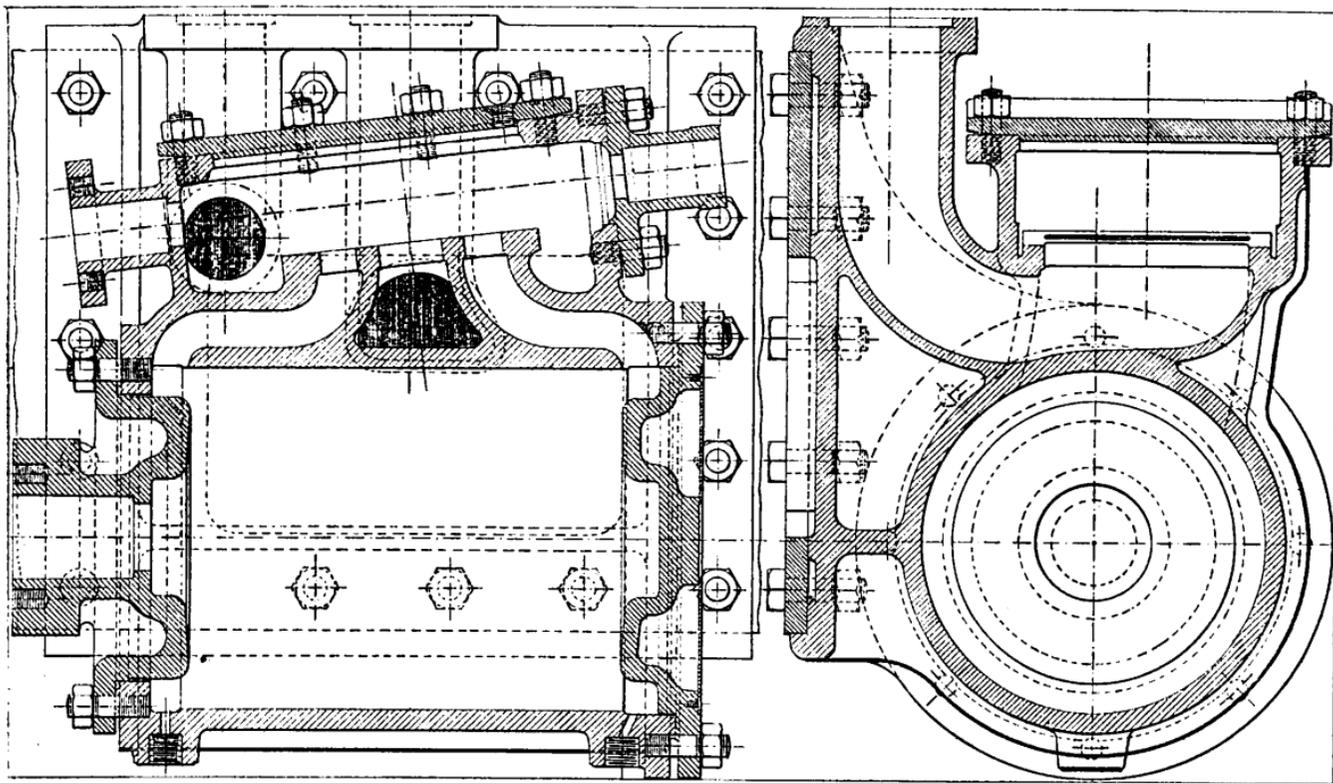


Fig. 105. — Cylindre extérieur des locomotives de gare de la compagnie de l'Est (n<sup>os</sup> 0.901 à 0.948.)

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 extérieurs, ce bouton est fixé sur la roue même, ou bien sur une *manivelle* rapportée à l'extrémité de l'essieu. Avec les cylindres intérieurs, le tourillon de manivelle est le tourillon de l'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. 102). 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 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.

Donc, en négligeant l'effet que peuvent produire les 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 du piston presse la glissière inférieure seule. Il n'en est plus de même dans la marche à contre vapeur.

**86. Cylindres.** — Les *cylindres* sont réunis aux longerons par des boulons enfoncés à coups de masse dans les trous alésés : l'attache doit être très solide ; sinon elle se disloque rapidement. Ils peuvent être placés à l'*extérieur* du longeron, comme on le voit sur la figure 105. Les cylindres *intérieurs* (fig. 106) sont en outre boulonnés ensemble : parfois une *frette* en fer serrant deux saillies des cylindres, ajoute son action à celle des boulons. Quelquefois ils sont fondus en une pièce unique (fig. 107). Cette figure représente deux cylindres inégaux d'une locomotive compound : des cylindres égaux peuvent être fondus de même.

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

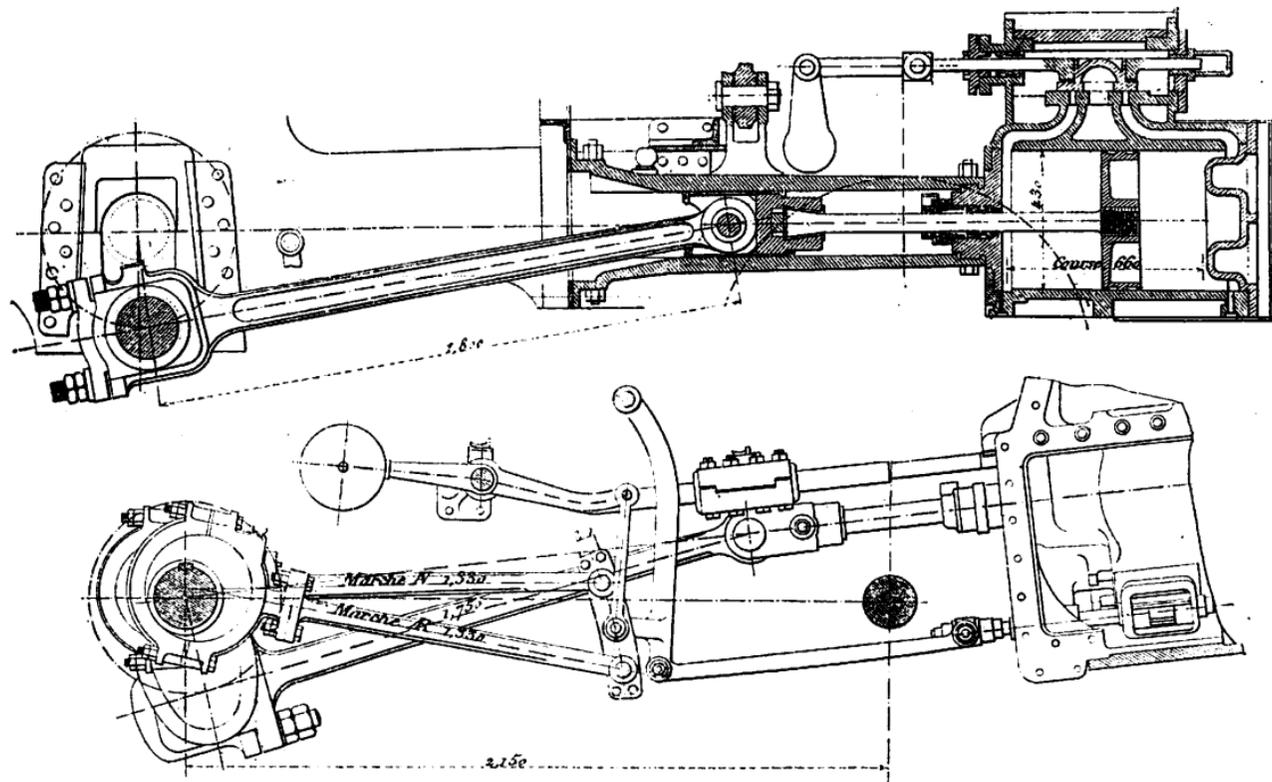


Fig. 105 bis. Mécanisme de locomotives à grande vitesse de la compagnie de l'Ouest.

Fig. 106 bis. Mécanisme des locomotives-tenders à 3 essieux couplés de la compagnie de l'Ouest.

replis des lumières, s'il ne reste ni écrou, ni outil, ni déchet de coton, ni aucun autre objet pouvant endommager le cylindre.

Les enveloppes extérieures des cylindres doivent toujours être remontées avec soin, car le refroidissement par l'air y cause une perte de chaleur fort 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, etc., conviennent pour cet emploi, parce que la chaleur ne les altère pas. Il faut qu'elles remplissent bien les vides sans être par trop tassées.

**86 bis. Position des tiroirs.** — Les tiroirs sont placés fort diversement sur les cylindres. Leur position dépend d'abord de l'emplacement disponible pour loger les boîtes à vapeur qui les renferment ; puis il convient que le mécanisme de distribution les commande facilement ; enfin il y a grand intérêt à rendre aisée la visite des tiroirs et des tables. Lorsque les cylindres sont extérieurs, les boîtes à vapeur pénètrent souvent à l'intérieur des longerons, où la place ne leur manque pas, et les tables des lumières sont verticales ; on n'est pas trop gêné pour la visite, mais elle est encore bien plus facile si le tiroir est monté au-dessus du cylindre, soit avec une table horizontale, (fig. 168, 193 *quater*, 239 et 240), soit avec une table inclinée (fig. 105).

Quand les cylindres sont intérieurs, les tiroirs sont souvent placés entre eux, et jouent sur des tables verticales, comme on le voit figure 106. La place disponible entre les cylindres est rarement aussi grande que dans cet exemple, où les longerons sont *extérieurs*. Faute d'espace, on a quelquefois tellement rapproché la table de la paroi cylindrique qu'il a fallu faire tourner la lumière d'échappement autour du cylindre, ainsi qu'on le voit figure 230 *ter*.

Quelquefois les tables sont horizontales et *au-dessus* des cylindres intérieurs (fig. 105 *bis* et 107), ou *en dessous* (fig. 193 *quater*) ; dans cette position la table peut être inclinée transversalement, comme on le voit sur la figure 106 *bis*, qui représente le mécanisme des machines tenders à trois essieux couplés de la compagnie de l'Ouest.

Certaines locomotives de la même compagnie ont la table des lumières verticale avec boîte à vapeur à l'*extérieur* des longerons. Dans les dernières locomotives à bogie de ce réseau les tiroirs sont placés latéralement avec table oblique, comme on le voit sur la figure 58 *bis* (p. 61). Cette même position, très commode pour la visite, se retrouve figure 193.

**87. Pistons.** — Le piston (fig. 103, p. 124) doit glisser librement dans le cylindre, mais sans laisser fuir la vapeur. Le *segment de piston* (fig. 104, même page), ou bague élastique en fonte, est tourné sur un diamètre dépassant d'un centimètre environ celui du cylindre : on coupe la bague et on enlève un tronçon long de 27 millimètres environ ;

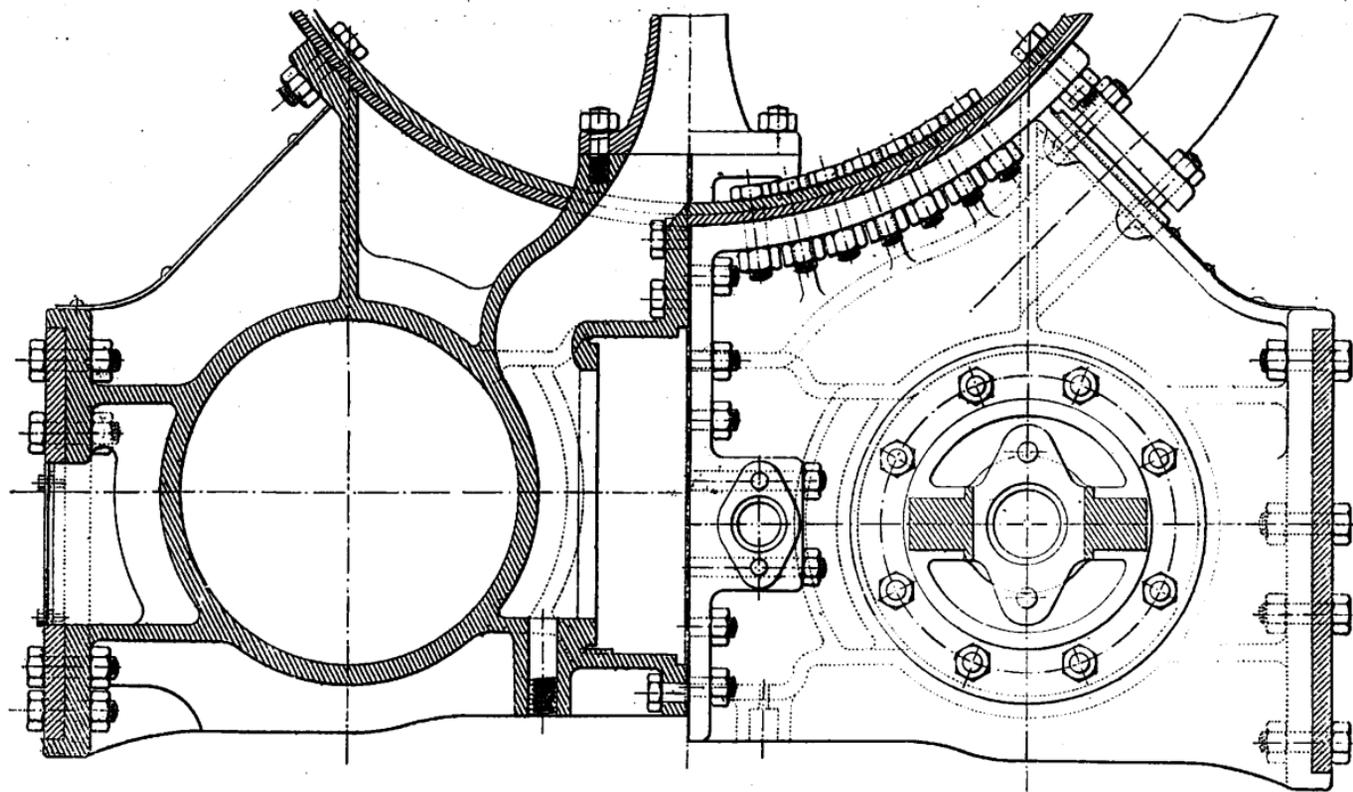


Fig. 106. — Cylindre intérieur des locomotives-tenders à 3 essieux couplés de la compagnie de l'Est.

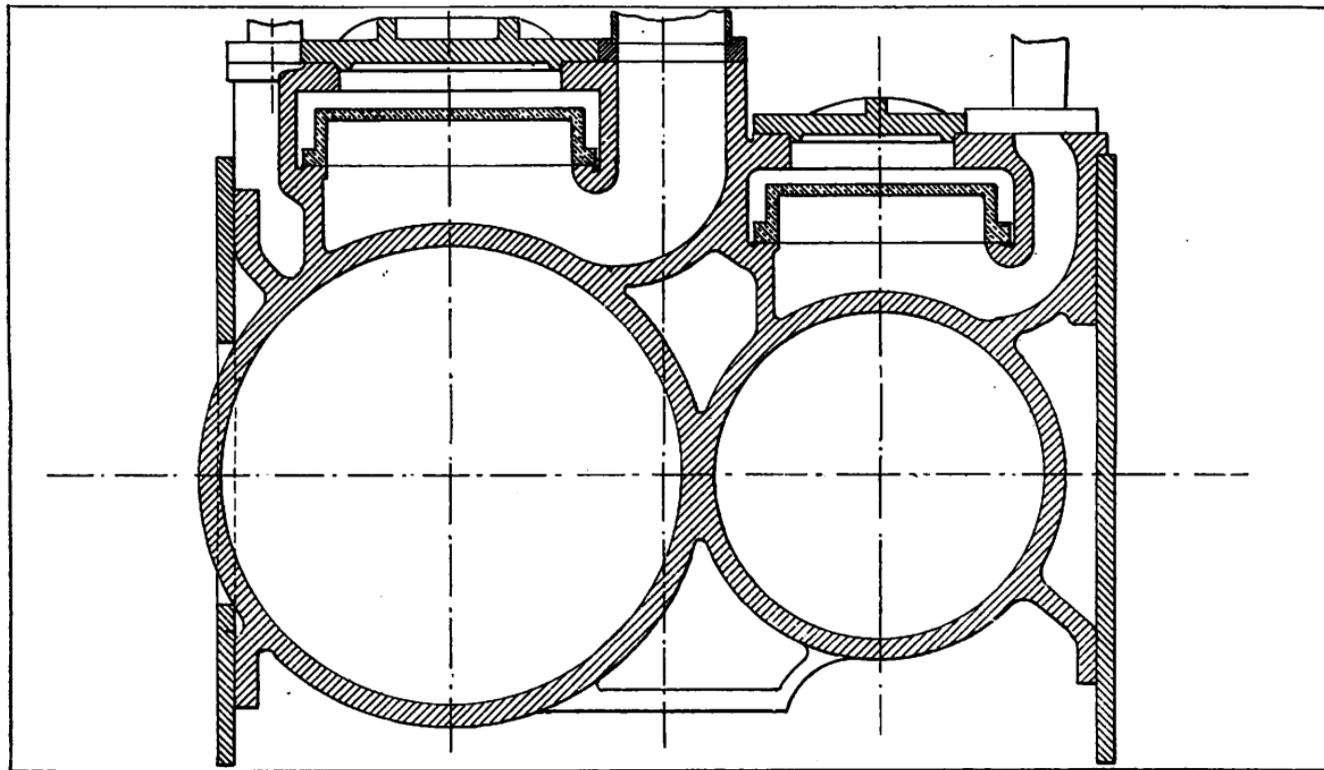


Fig. 107. — Cylindres fondus en une pièce, des locomotives compound du North Eastern railway.

enfin on serre les deux sections l'une contre l'autre et on achève de tourner la bague exactement au diamètre du cylindre. Le segment peut alors être mis en place, mais il tend à s'ouvrir, et l'élasticité du métal l'applique contre les parois. En montant des segments neufs, on doit pouvoir manœuvrer 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, mais il presse de moins en moins fort les parois; il faut le changer quand il bâille de 3 millimètres environ. Le joint, bien que brisé, laisse un petit passage à la vapeur, qui s'agrandit par l'usure. La vapeur entre en effet sous le segment et fuit par le joint entr'ouvert. Il faut remarquer que 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. Cet effet, vu le changement de sens continu de la pression de la vapeur, explique l'usure des gorges du piston. Grâce à l'emploi de deux segments, à joints croisés, les fuites sont fort atténuées.

Les segments cassés, laissant fuir la vapeur d'un côté du piston à l'autre, peuvent rayer le cylindre, et les morceaux risquent de défoncer les plateaux en quittant leur logement.

Au piston *évidé à simple toile* de la figure 103, 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'ont plus à épouser le profil refouillé du piston.

Le piston doit être solidement emmanché sur la tige: un piston de 300 millimètres de diamètre, soumis à une pression effective de 12 kg par cm<sup>2</sup>, transmet une force de 23 500 kilogrammes: les deux pistons, s'ils étaient placés comme des vérins, pourraient souvent soulever leur locomotive.

La figure 103 représente une tige vissée dans le piston. D'autres fois 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.

**88. Graissage des tiroirs et 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 fermé; mais il est utile même quand la vapeur est admise aux cylindres.

Les appareils graisseurs sont fort variés; on peut les grouper en cinq catégories:

1<sup>o</sup> Les graisseurs à deux robinets (fig. 108), montés directement sur le cylindre ou sur la boîte à vapeur, permettent de graisser lors des arrêts; mais il est dangereux de s'en servir pendant la marche, vu leur position vers l'avant de la machine.

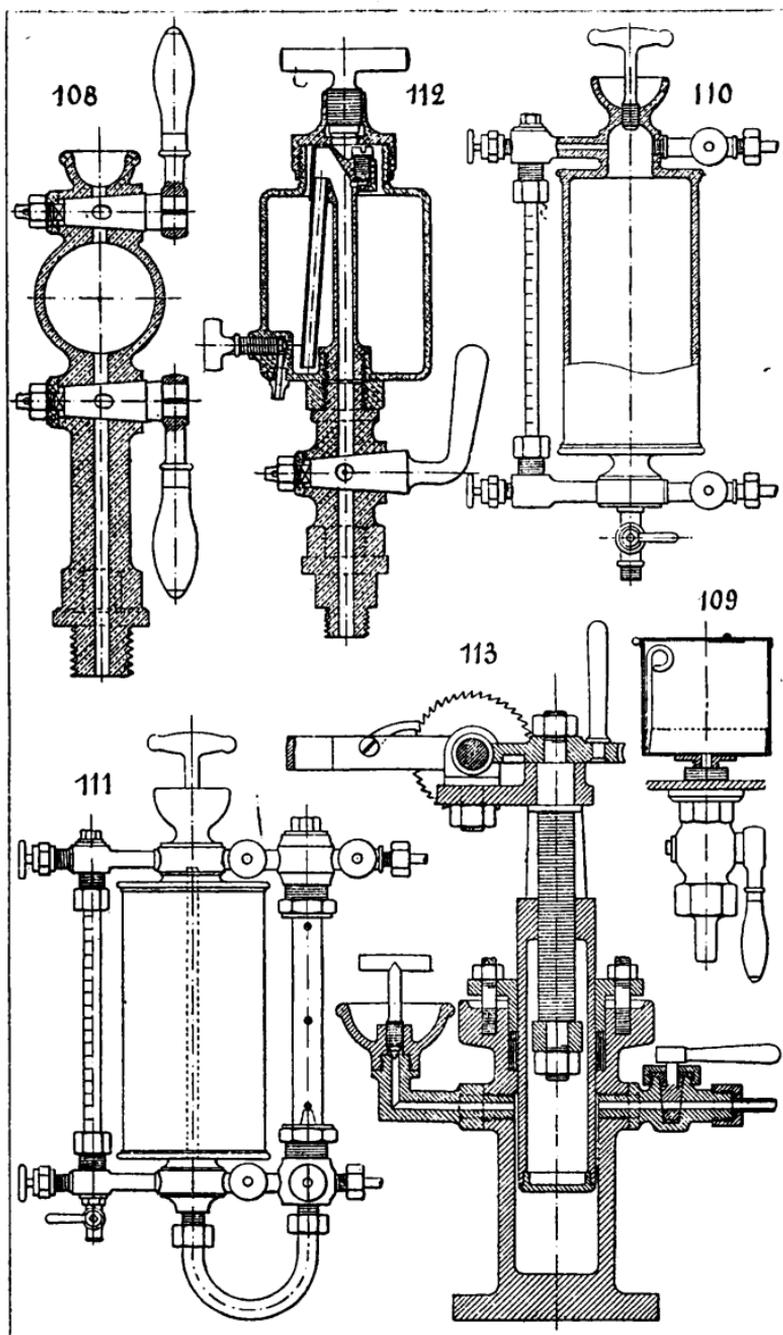


Fig. 108. Graisseur à deux robinets. — Fig. 109. Godet graisseur à distance.  
 — Fig. 110. Graisseur Consolin. — Fig. 111. Graisseur à gouttes visibles.  
 — Fig. 112. Graisseur Meyer. — Fig. 113. Graisseur mécanique.

2° Les graisseurs peuvent être reportés à l'arrière de la machine (fig. 109) et reliés par des tuyaux aux cylindres. Comme l'huile ne peut y pénétrer que lorsque l'admission est fermée, deux robinets sont inutiles ; un seul suffit.

Le graissage est encore intermittent ; il exige la fermeture du régulateur ; enfin les tuyaux se bouchent assez souvent, surtout par la gelée. La plate-forme reçoit des projections d'huile fort désagréables quand on oublie de refermer le robinet de ce graisseur.

3° *Les graisseurs à aspiration* fonctionnent lorsqu'on ferme le régulateur. Ces appareils sont montés sur les cylindres, dont les séparateurs une petite soupape fermée par la pression de la vapeur ; une mèche de graissage, puisant dans un réservoir, remplit une petite capacité d'huile, qui est aspirée par le piston quand on interrompt l'arrivée de vapeur. Ces graisseurs sont en usage sur les locomotives de la compagnie de l'Ouest, dont les tiroirs sont lubrifiés par le graisseur Meyer décrit ci-dessous.

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.

Dans le graisseur Consolin (fig. 110), on 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. 111) 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. Tels sont ceux dus à M. Meyer (fig. 112), dessinateur à la compagnie de l'Est ; ils sont disposés pour permettre également l'aspiration de l'huile quand le régulateur est fermé.

5° *Les graisseurs mécaniques* (fig. 113) se composent d'une véritable pompe dont le piston plongeur reçoit un mouvement de descente fort lent et chasse ainsi l'huile dans les cylindres en quantité exactement réglée.

Un appareil analogue (fig. 113 bis) peut être commandé à la main par le mécanicien lorsqu'il juge à propos de graisser les tiroirs.

Un bon graisseur doit être simple et fonctionner régulièrement. Les fréquentes avaries et le prix élevé de beaucoup d'appareils de ce genre font que souvent on s'en tient aux simples robinets, bien qu'ils assurent moins bien le graissage et dépensent plus d'huile.

**89. Garnitures de tiges.** — Les garnitures des tiges doivent être étanches, mais il ne faut pas trop les serrer, car un serrage excessif augmente beaucoup le travail perdu en frottements et l'usure, et peut faire gripper les tiges.

La *bague de fond* et la *bague du presse-garniture*, en bronze, gui-

dent la tige : les fuites de vapeur sont arrêtées par la matière élastique comprimée entre les deux bagues. On se servait autrefois de tresses en chanvre ou en étoupe, que la vapeur à pression élevée et, par suite très chaude (voir § 10), en usage aujourd'hui, carbonise rapidement. On a remplacé le chanvre par des tresses formées de

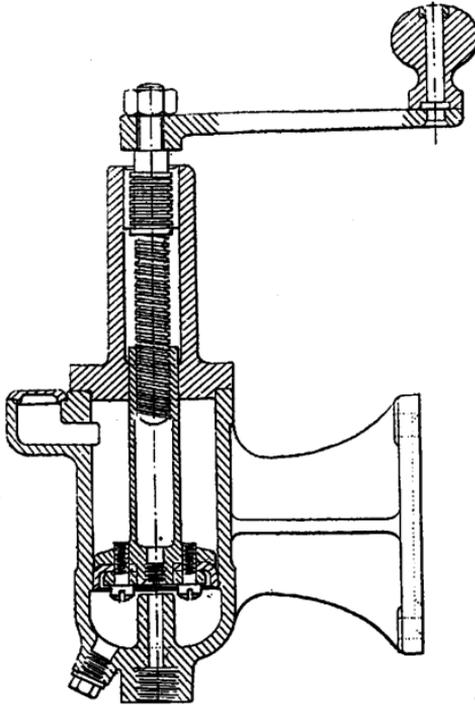


Fig. 113 bis. — Graisseur à piston de la compagnie de Lyon.

copcaux en métal blanc (fig. 114). Aujourd'hui on préfère, à la compagnie de l'Est, les rondelles coniques du système Kubler (fig. 115). Avec ces rondelles les écrous du presse-garniture doivent être serrés à la main, de telle sorte qu'à froid il puisse jouer sur la tige. Le contre-écrou, serré fortement 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 avant chaque voyage.

Pour appliquer la garniture Kubler, on doit bien cylindrer les tiges, en les tournant à un diamètre un peu plus faible (de 0,5 mm au plus) aux extrémités qui ne frottent pas dans la garniture et par suite ne s'usent pas. Il ne faut pas oublier de faire disparaître au tour le biseau qui peut exister sur la bague de fond et le presse-garniture (fig. 114), si la machine portait un autre type de garniture. On fait au minimum

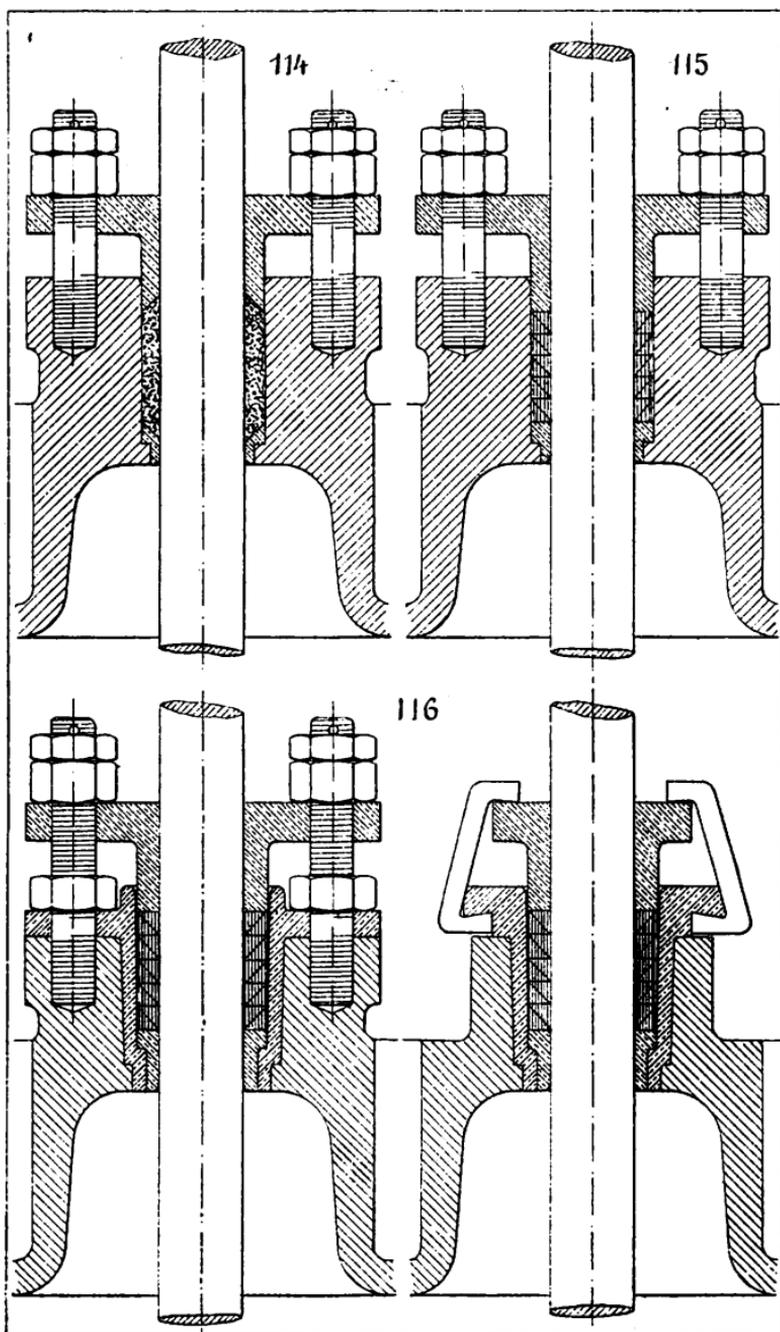


Fig. 114. Garniture en copeaux de métal blanc.  
 Fig. 115. Garniture Kubler. — Fig. 116. Garniture à fourreau démontable.

un joint entre la bague de fond et le fond du cylindre. Les bagues de métal blanc sont bien graissées, puis empilées en croisant leurs joints.

Le métal blanc des garnitures Kubler contient, par 100 grammes :

- 80 grammes de plomb,
- 8 grammes d'antimoine,
- 12 grammes d'étain.

Le démontage d'une garniture est parfois difficile ; il est rendu bien plus commode par l'emploi d'un fourreau en bronze (fig. 116), 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.

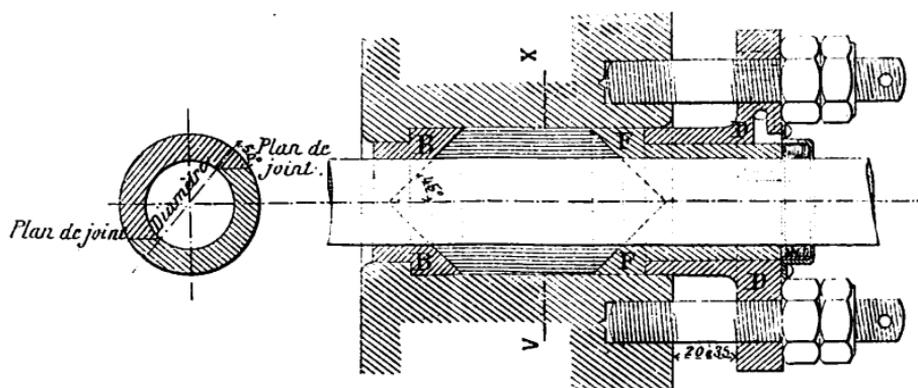


Fig. 116 bis. — Garniture Duterne, de la compagnie de Lyon.

On enlève ainsi les garnitures sans aucun choc qui les détériore.

La compagnie de Lyon fait usage de la garniture métallique *Duterne*, qui consiste en une bague cylindrique terminée à chaque extrémité par un cône (fig. 116 bis). 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 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).

Le presse-garniture doit simplement s'appuyer contre la garniture,

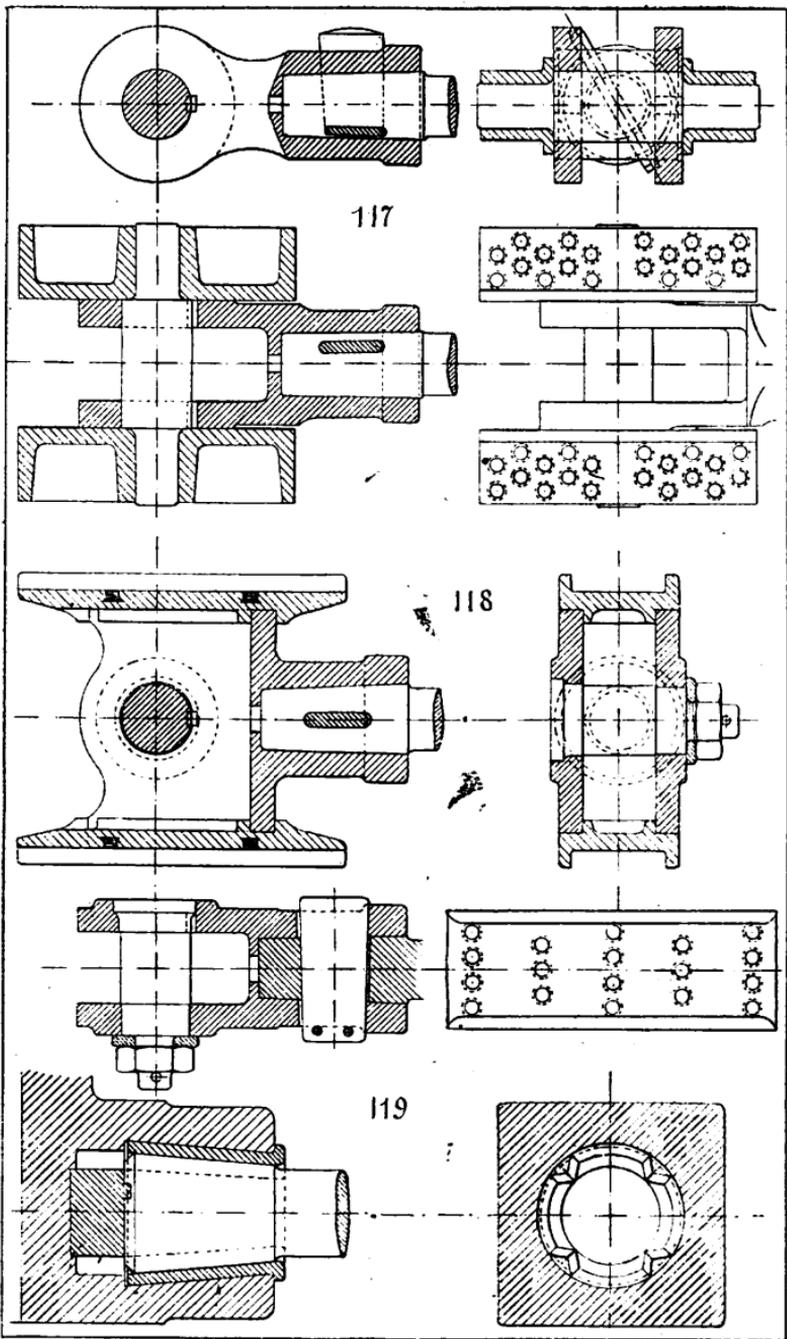


Fig. 117 et 118. Têtes de piston. — Fig. 119. Tête de piston sans clavette.

de manière à la maintenir en place, sans la serrer. Une légère fuite de vapeur, lors de la mise en service d'une garniture neuve, n'a pas d'inconvénients sérieux et disparaît au bout de quelques jours.

Le presse-garniture est muni d'un godet graisseur et porte en outre un petit réservoir 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.

Les garnitures Duterne ne s'appliquent pas aux *tiges tournantes* de certains régulateurs. Le métal des garnitures est un alliage composé de 76 grammes de plomb, 10 d'antimoine et 14 d'étain.

A la compagnie de l'Ouest, les garnitures métalliques des tiges de pistons, de tiroirs et de régulateurs sont généralement, sauf divers essais, du système Duterne.

**90. Têtes de piston.** — La *tête de piston* (fig. 117 et 118) 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. Comme la rainure de clavetage peut provoquer la rupture de la tige, certains constructeurs préfèrent un emmanchement sans clavette, tel que celui de la figure 119 : la tige se termine par un renflement conique, qu'on appuie sur une bague d'acier, également conique, en quatre pièces, à l'aide d'un coin, qu'on voit en coupe sur la partie de droite de la figure 119.

La tête de piston est guidée en ligne droite par les *glissières*, à l'aide de coulisseaux en fonte, qui peuvent être garnis de macarons de régule ainsi que les tiroirs ; elle porte un *tourillon*, sur lequel s'articule la bielle motrice. La figure 117 représente une tête guidée par quatre glissières ; c'est le tourillon d'articulation qui porte les deux coulisseaux ; les deux parties supérieures de la figure sont des coupes par des plans verticaux ; les deux parties inférieures sont une coupe par un plan horizontal et une vue par-dessus, les glissières étant enlevées. La figure 118 représente une tête guidée par deux glissières.

**91. Glissières de tête de piston.** — Les *glissières* de tête de piston sont le plus souvent au nombre de deux (fig. 105 bis) ; la tête représentée figure 118 est ainsi guidée. Parfois on dispose quatre glissières (fig. 117), notamment quand la place manque en hauteur, par suite de la présence, au-dessous du mécanisme, d'un essieu accouplé avec l'essieu moteur. Dans le même cas, on fait usage d'une glissière unique (fig. 106 bis et 120), complètement enfermée entre la tête de piston et un chapeau boulonné. Dans tous les cas, les glis-

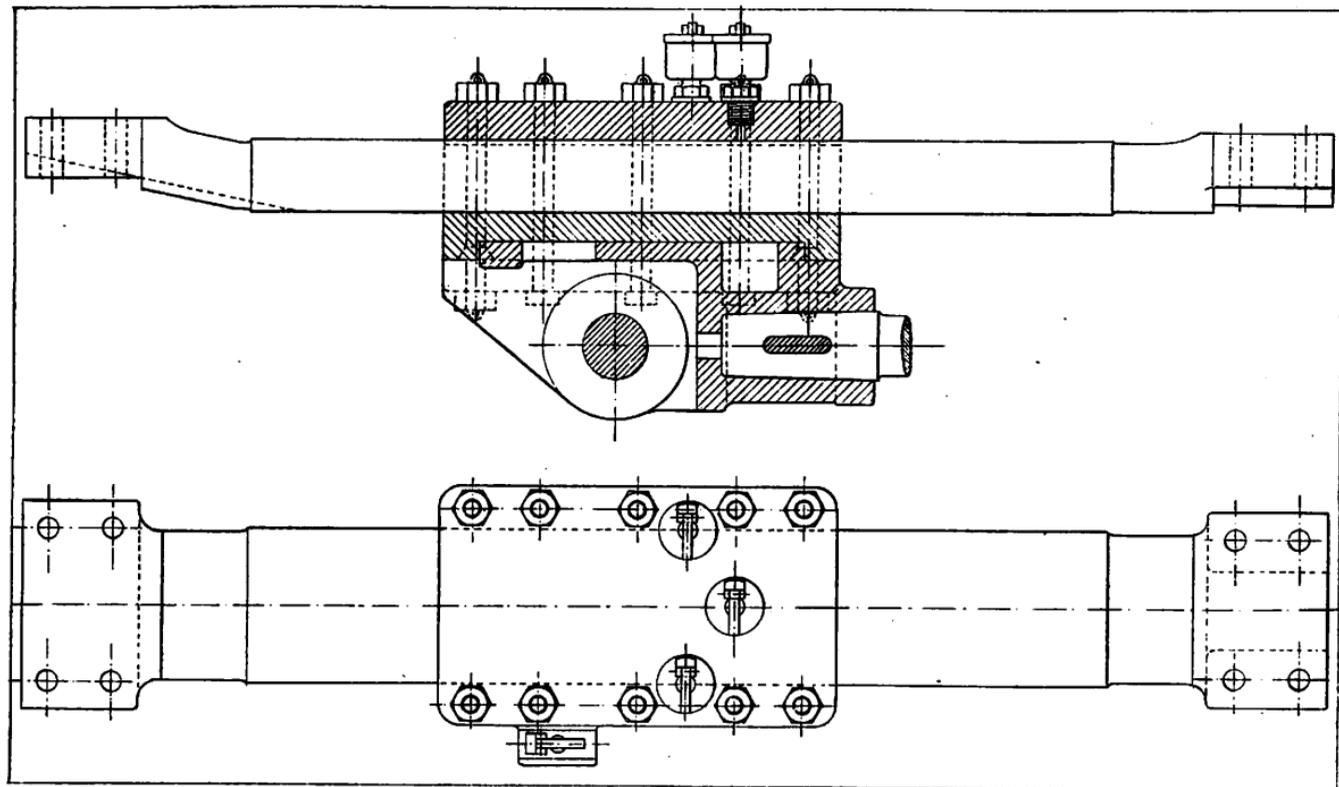


Fig. 120. — Glissière unique de tête de piston.

sières sont des barres d'acier fixées par une extrémité au fond arrière du cylindre et par l'autre sur un support spécial : des cales en cuivre 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 exactement parallèles à l'axe du cylindre.

Quelquefois les glissières dépassent vers l'arrière leur support spécial, qui se trouve ainsi rapproché du cylindre. Cette disposition est logique, puisque la plus grande pression sur les glissières se produit vers le milieu de la course ; elle devient faible aux extrémités, quand la bielle n'est presque plus inclinée sur 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.

Nous avons vu, à la fin du § 85, dans quel sens les glissières étaient pressées.

**92. Bielles motrices.** — La *petite tête* de la bielle motrice s'articule sur la *tête de piston*, la *grosse tête* sur le *tourillon* ou *bouton de manivelle* ; les deux têtes sont réunies par le *corps*. Les formes de ces pièces sont assez variées.

La petite tête peut être *simple* (fig. 122, 123, 124) ou à *fourche* (fig. 121) : il est essentiel que les deux branches de la fourche portent également sur le tourillon 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'un coin à vis (fig. 121, 123, et 124) ou d'une clavette n'est-elle pas nécessaire ; on peut se contenter d'une bague, comme on le voit sur la figure 122. Le jeu de l'articulation de la bielle sur la tête de piston ne doit pas être supérieur à 1 dixième de millimètre (0,1 mm) quand on la monte ; en service, on ne laissera pas ce jeu dépasser 1 millimètre.

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.

Les coussinets de la grosse tête sont souvent en bronze ; sur le réseau de l'Est, ils sont forgés en fer ou en acier et entièrement garnis de régule. Pour les machines les plus fatiguées, un kilogramme de ce régule est composé de 111 grammes d'antimoine, 833 grammes d'étain et 56 grammes de cuivre ; pour d'autres machines, on se contente d'un alliage moins coûteux de 650 grammes de plomb, 250 grammes d'antimoine et 100 grammes de cuivre.

On rapporte toutefois sur chaque coussinet (fig. 122) 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. Les cales se liment quand on *rattrape le jeu*.

Le jeu de l'articulation de la bielle motrice sur la manivelle peut

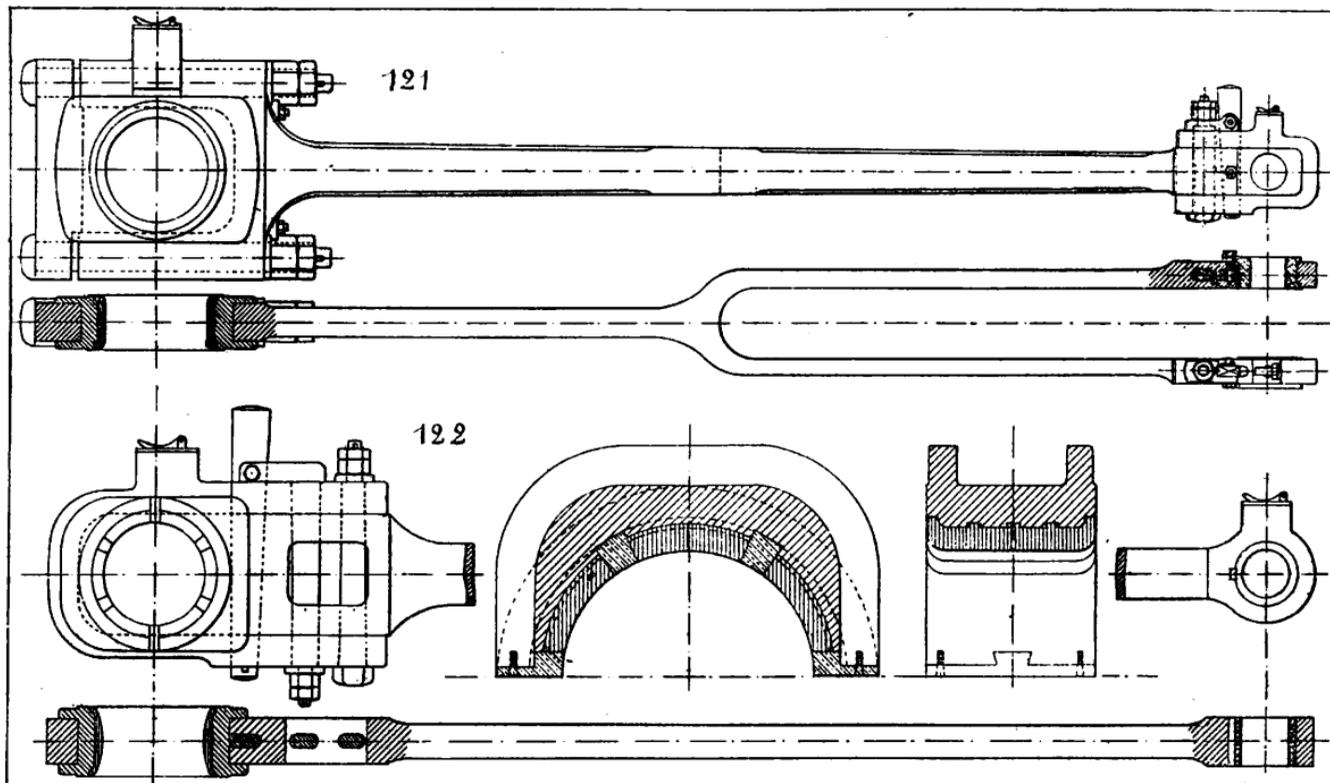


Fig. 121. Bielle motrice à chapeau. — Fig. 122. Bielle motrice à chape rapporté.

atteindre 0,5 mm sur le diamètre quand on la monte ; il ne doit pas dépasser 1,5 mm en service. Transversalement on lui donnera un jeu 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 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 les deux axes des articulations : dans le premier cas, le jeu du piston à fond de course contre le plateau d'avant se réduit ; on aura soin 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.

La grosse tête de la bielle représentée figure 123 se compose d'une cage entièrement fermée recevant 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 cage ouverte (fig. 124) s'applique lorsqu'il y a une contre-manivelle et sur certaines machines à mouvement intérieur ; en enlevant la *clavette* et l'*étrier*, on peut sortir le coussinet arrière.

La bielle à *chapeau* de la figure 121 s'applique sur des tourillons d'essieu coudé : le chapeau qui serre les coussinets est fixé au corps par deux gros boulons.

La figure 105 *bis* montre une variante de cette forme, montée sur des locomotives de la compagnie de l'Ouest, où les boulons, sur lesquels se serre le chapeau, sont venus de forge avec le corps de la bielle. On préfère aujourd'hui la disposition de la figure 106 *bis*, où les boulons font corps avec le chapeau : elle exige moins de place entre l'essieu coudé et l'avant de la boîte à feu.

La bielle à *chape rapportée* (fig. 122) convient pour les mouvements intérieurs ; elle est fort usitée, surtout en Angleterre. 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.

**93. Bieltes d'accouplement.** — Les bieltes d'accouplement sont souvent munies de *clavettes de réglage* (fig. 125), qui permettent de compenser l'usure des coussinets. Ce réglage doit être fait avec grand soin et de manière que la longueur des bieltes, comptée d'axe en axe des œils, soit toujours exactement la même des deux côtés de la machine : les coins des glissières des boîtes doivent être 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

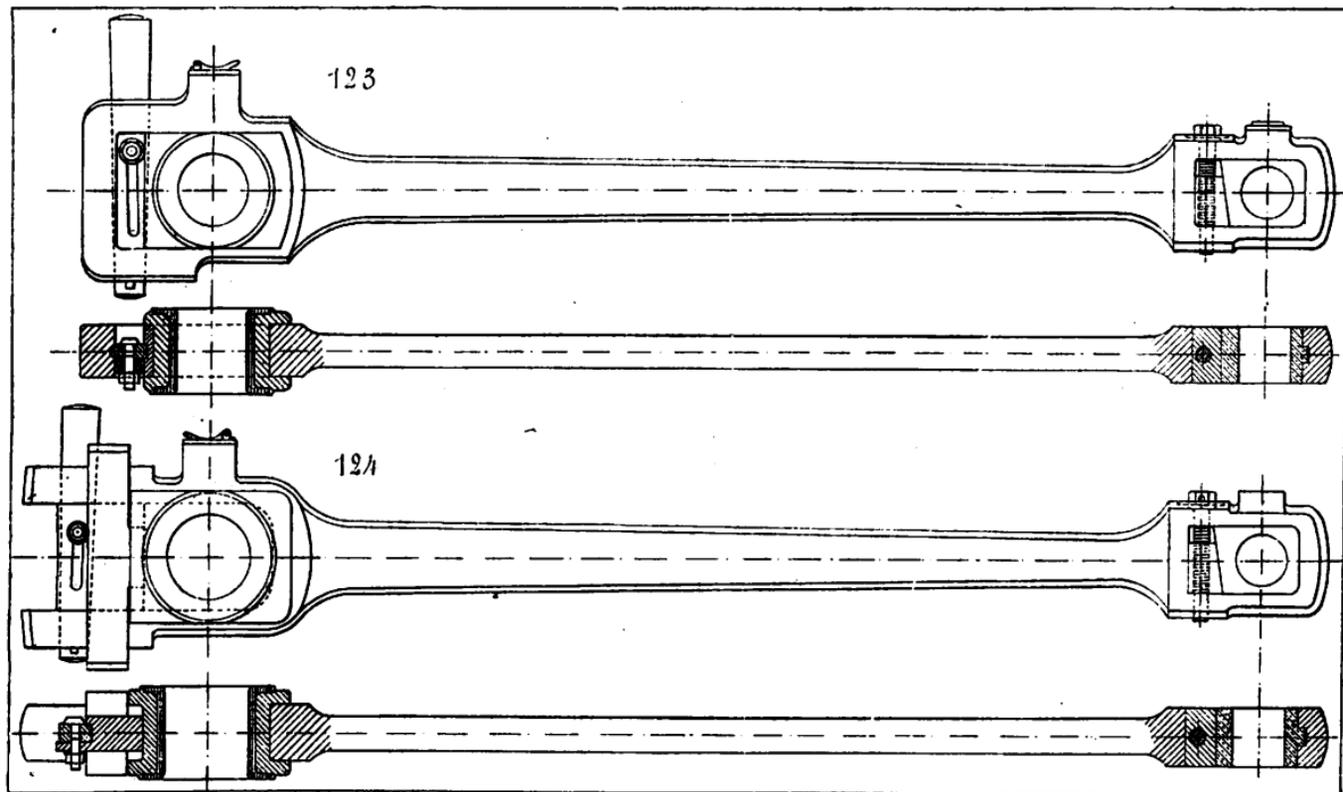


Fig. 123. Bielle motrice à cage fermée. — Fig. 124. Bielle motrice à cage ouverte.

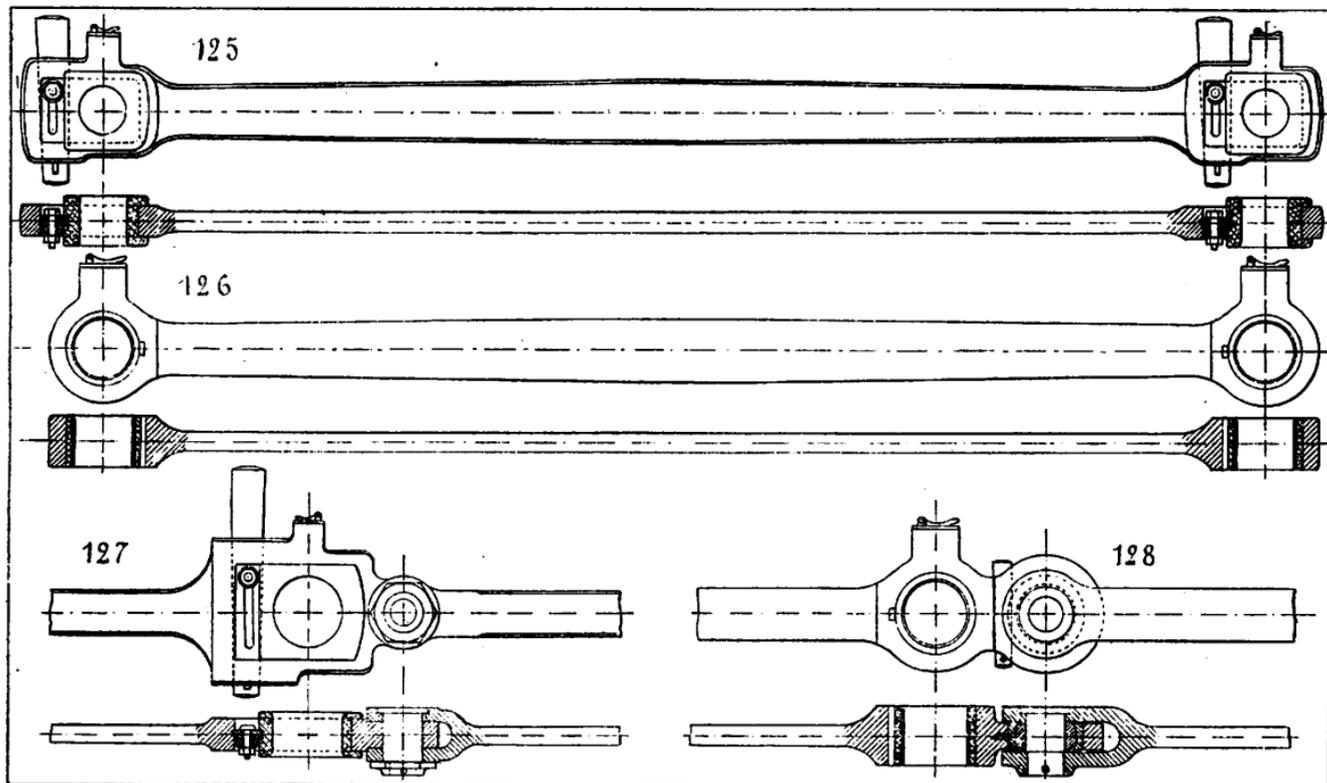


Fig. 125. Bielle d'accouplement à clavettes. — Fig. 126. Bielle d'accouplement à bagues. — Fig. 127. Articulation des bielles d'accouplement. — Fig. 128. Articulation sphérique des bielles d'accouplement.



moteur; elle est à essieux indépendants, et l'adhérence peut être insuffisante.

S'il y a plusieurs essieux accouplés, la rupture d'une des bielles n'entraîne pas toujours la suppression totale de l'accouplement : on peut parfois en conserver quelques-unes en place.

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. Sur les locomotives représentées figure 192, c'est la tête plate et large d'un boulon qui empêche la sortie de la bielle : ce boulon traverse un trou percé dans l'axe du tourillon et porte un écrou serré contre la face postérieure de la manivelle. Le montage reste aussi simple avec des cylindres extérieurs, et deux essieux couplés, quand la bielle motrice est *en dessous* de la bielle d'accouplement, sur le bouton de manivelle de l'essieu moteur (fig. 243); mais avec plus de deux essieux couplés, et lorsque c'est l'essieu d'arrière d'un groupe de deux qui est moteur (fig. 241), la bielle d'accouplement se trouve en dessous de la bielle motrice et le montage est moins simple.

**93 bis. Graissage des mécanismes.** — Il est nécessaire que les parties frottantes des machines soient bien graissées. Pour les articula-

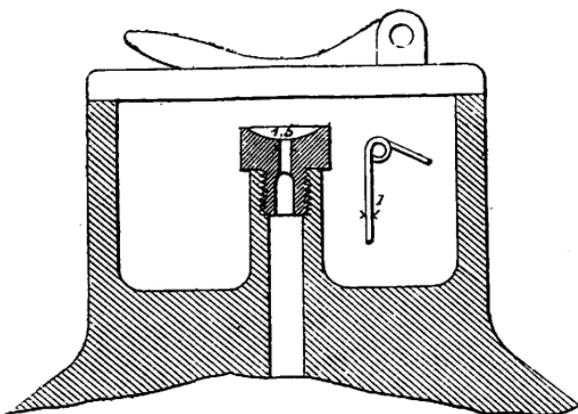


Fig. 127 bis. — Graisseur à épinglette : l'épinglette est placée dans le trou.

tions 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 sans arrêt : cette condition exige soit de très grands *godets graisseurs*, soit, ce qui est préférable, des appareils à débit convenablement réglé, sans excès. L'huile est débitée par des mèches, analogues à celles qui sont

dessinées figure 219 ; ou par un appareil à *épinglette* (fig. 127 bis), bien plus commode et ne dépensant pas d'huile pendant les arrêts.

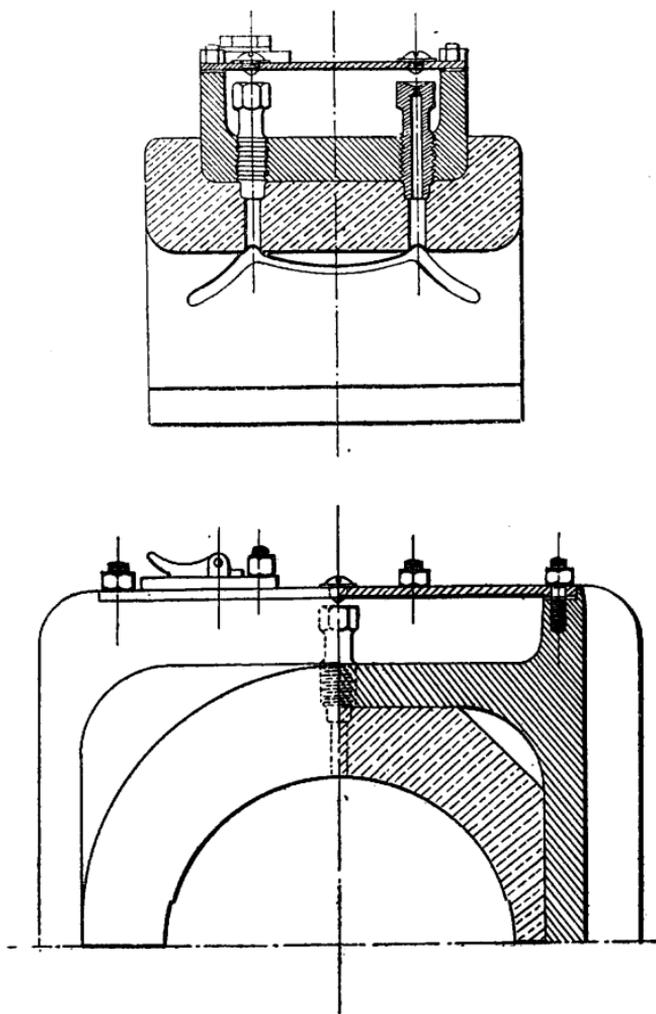


Fig. 127 ter. — Graisseur sans mèche de la compagnie de l'Ouest.

On réduit ou on augmente le débit à volonté, en employant des *épinglettes* de grosseurs diverses.

On peut même supprimer l'*épinglette*, et se contenter d'un petit trou, dont le diamètre a trois quarts de millimètre. Ce trou est percé au fond d'une petite coupe, où elle est projetée par les mouvements

ou les trépidations des pièces (fig. 127 *ter*). Cette disposition, appliquée en 1876, est généralement en usage sur le réseau de l'Ouest. La figure 127 *ter* représente le graissage d'une *boîte*, mais les têtes de bielles, les colliers d'excentriques, les glissières de têtes de pistons, sont graissées de même.

Au lieu de faire corps avec la bielle, le godet graisseur peut être fixé sur le tourillon (fig. 128 *bis*), percé de trous qui débouchent sur

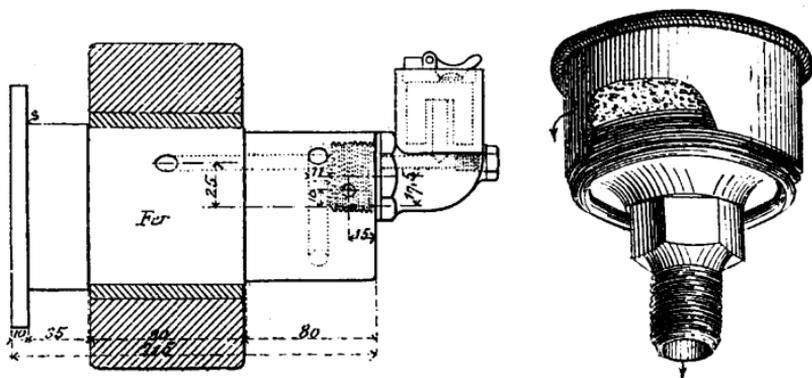


Fig. 128 *bis*. Graisseur sur bouton de manivelle de la compagnie de Lyon.  
Fig. 128 *ter*. Godet à graisse consistante.

la surface frottante : cette disposition existe sur certaines machines de la compagnie de Lyon.

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

Quelquefois on fait usage, sur les locomotives, de godets pleins de graisse consistante (fig. 128 *ter*), 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*, *végétale* ou *minérale*. Parmi les premières, nous citerons le *suif*. Des huiles végétales, la plus usitée en France est celle de *colza*. Les huiles minérales, extraites des pétroles, sont fréquemment employées, à cause de leur prix peu élevé, parfois en mélange avec le colza. Pour le graissage des tiroirs et des cylindres, on les préfère aux autres.

94. **Excentriques.** — Supposons d'abord que la locomotive ne doive marcher qu'en *avant* : l'essieu tournerait toujours dans le même sens et le tiroir pourrait être commandé par un excentrique unique, ainsi que cela a lieu souvent dans les machines fixes.

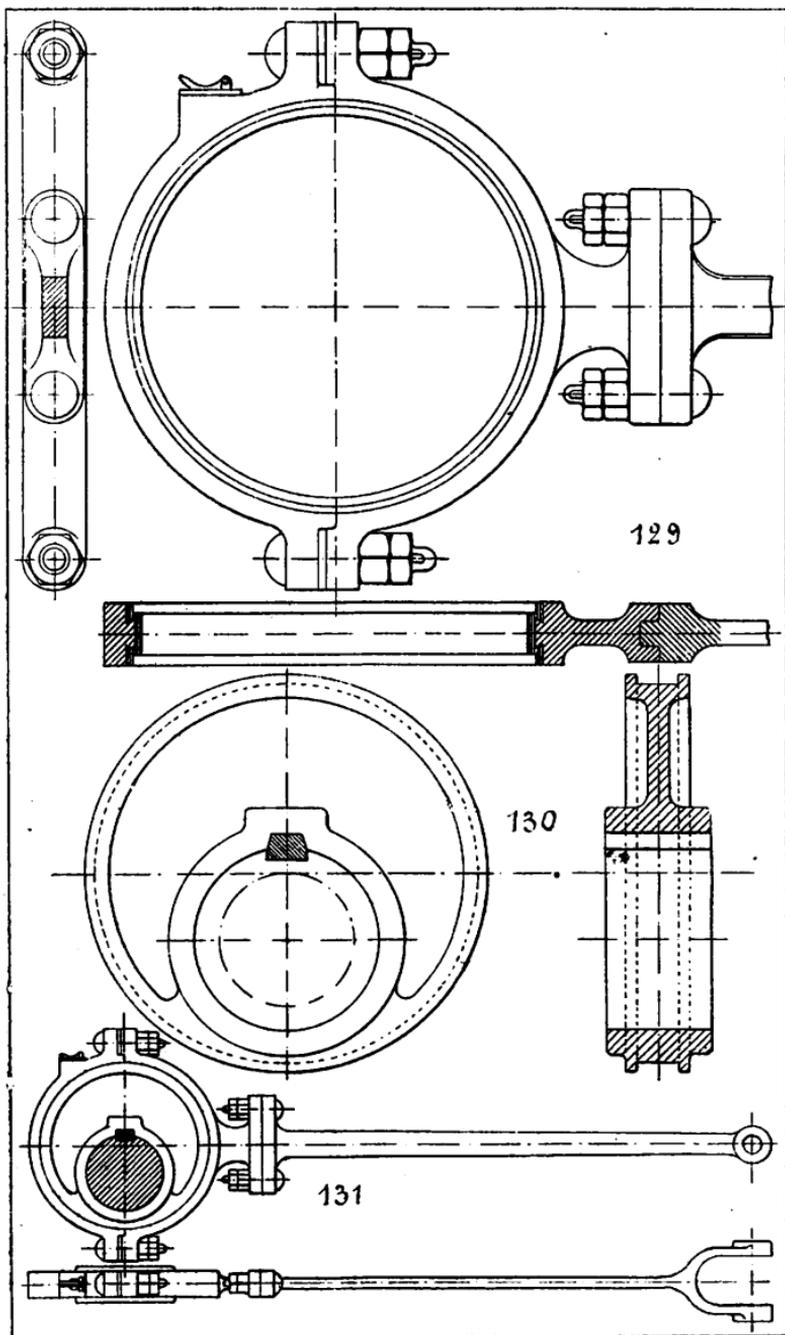


Fig. 129. Collier d'excentrique. — Fig. 130. Excentrique.  
 Fig. 131. Excentrique, collier, et barre d'excentrique.

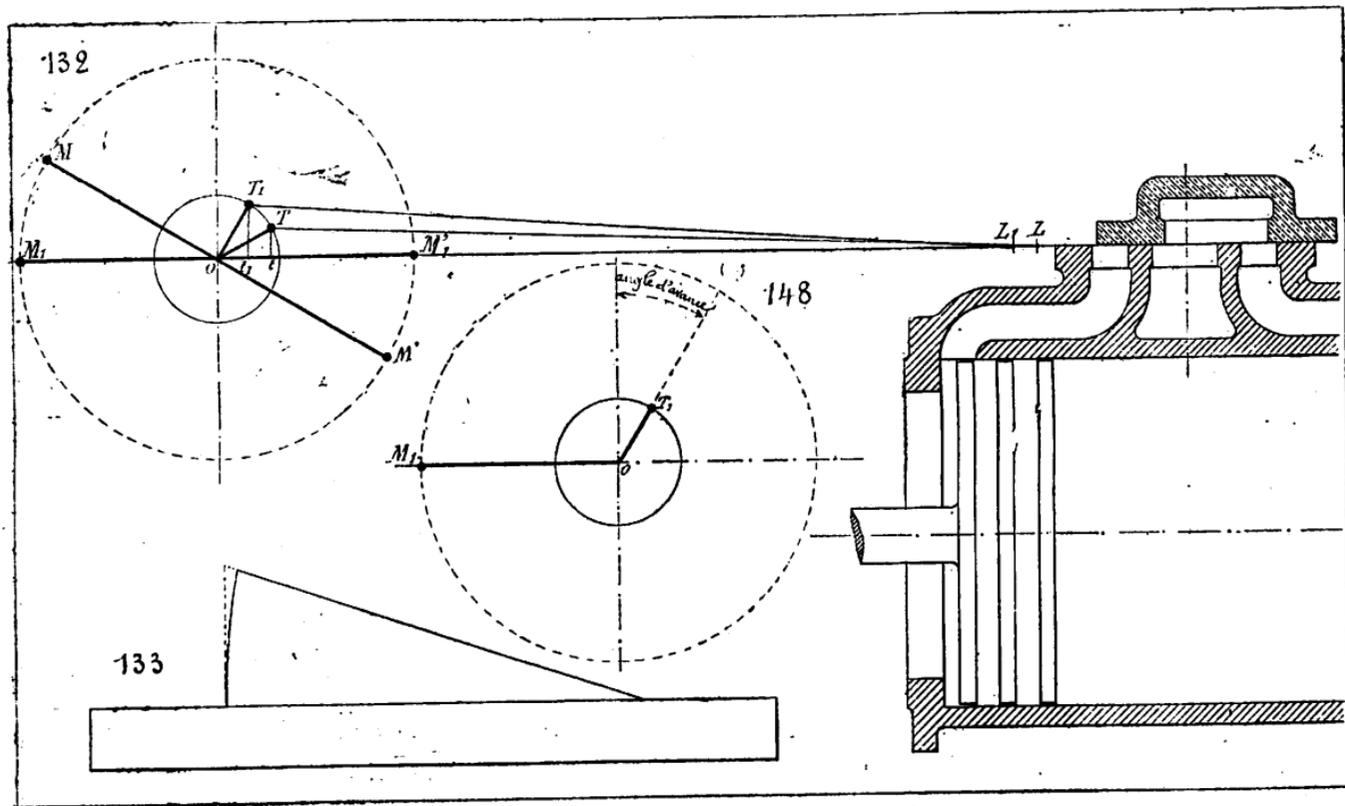


Fig. 132. Commande du tiroir par un excentrique. — Fig. 133. Tracé du déplacement du tiroir.  
 Fig. 148. Angle d'avance de l'excentrique.

L'*excentrique* (fig. 130) n'est pas, en principe, un mécanisme différent de la *manivelle* : il ne se distingue que par un détail de construction, qui ne modifie pas la loi du mouvement. Prenons une manivelle ordinaire, et grossissons-en le bouton jusqu'à ce qu'il vienne enfermer l'essieu : nous pourrions alors monter ce bouton grossi sur le corps de l'essieu, sans être obligés de le couder, ce qui en simplifie beaucoup l'exécution.

Le *collier d'excentrique* (fig. 129) est l'équivalent de la grosse tête de bielle motrice : la *barre d'excentrique* (fig. 131), qui se rattache à la *tige* du tiroir, guidée en ligne droite, est l'équivalent de la bielle.

**95. Mouvement du tiroir commandé par un excentrique.** — Considérons un tiroir de machine fixe dont la tige est parallèle à l'axe du cylindre, disposition fréquente. Quand la manivelle motrice est à son *point mort*, en  $O M_1$  (fig. 132), le centre de l'excentrique est en  $O T_1$  : la barre d'excentrique est en  $T_1 L_1$  ; le tiroir découvre légèrement la lumière de gauche (sur la figure), et dépasse le bord extérieur de cette lumière de la longueur dite *avance linéaire* (voir § 83).

Quand la manivelle motrice, en tournant, est venue en  $OM$ , le rayon de l'excentrique a tourné en même temps du même angle et a pris la position  $OT$ . Pour savoir de combien s'est déplacé le tiroir, on n'a qu'à porter en  $TL$  la longueur de la barre : le tiroir a parcouru une longueur égale à  $L_1 L$ . Ce tracé a l'inconvénient d'exiger une feuille de papier immense si on veut le faire à grande échelle ; aussi opère-t-on autrement : supposons d'abord qu'on prenne, sur l'axe  $OL_1$ ,  $L_1 t_1$  égal à  $L_1 T_1$ , ce qu'on pourrait faire en plaçant en  $L_1$  la pointe d'un compas et décrivant un arc de cercle avec l'ouverture  $L_1 T_1$  ; construisons de même  $Lt$  égal à  $LT$  et par suite à  $L_1 T_1$  ;  $t_1 t$  est égal à  $L_1 L$ , c'est-à-dire au déplacement cherché du tiroir. Au lieu de placer la pointe du compas en  $L_1$  et en  $L$ , nous prendrons une *équerre* à dessin et nous taillerons le petit côté en arc de cercle du rayon voulu  $L_1 T_1$  (fig. 133) : nous n'aurons plus qu'à faire glisser cette équerre suivant  $OL$  en amenant la partie ainsi arrondie sur les points  $T_1$ , puis  $T$  : nous pourrions alors tracer facilement  $T_1 t_1$ ,  $Tt$ , ce qui nous donnera le déplacement cherché du tiroir,  $t_1 t$ .

Suivons ainsi le mouvement du tiroir pour un tour complet (fig. 134) : nous verrons d'abord le point  $t$  s'écarter de  $t_1$  vers la droite, jusqu'à ce que  $T$  vienne en  $t'$ , ce qui nous montre que le bord  $E$  du tiroir s'écarte du bord  $E'$  de la lumière (fig. 135), qui s'ouvre de plus en plus. Ensuite  $t$  revient vers la gauche en se rapprochant de  $t_1$ , sur lequel il repasse ; le tiroir se retrouve dans la position initiale, celle de la figure 135 ; 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 (fig. 136) : l'*admission* cesse et la

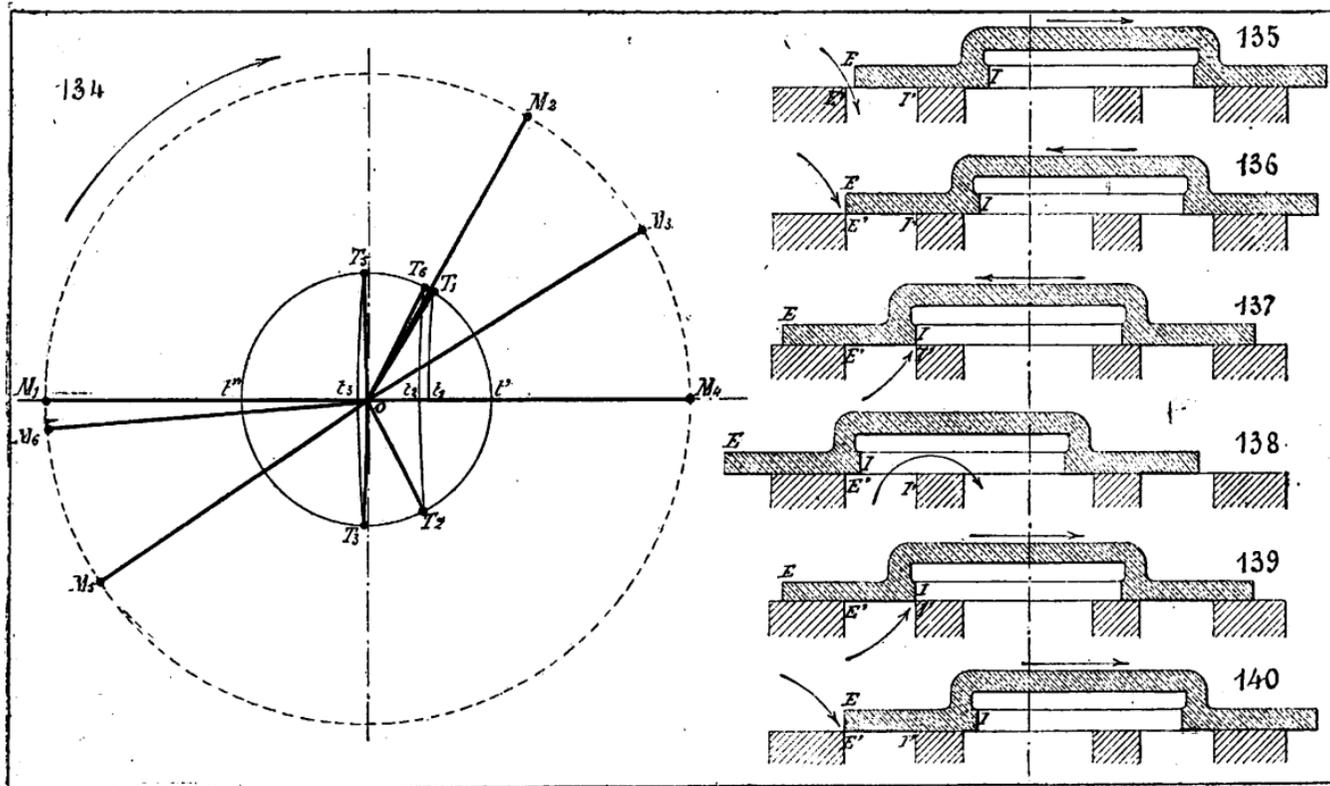


Fig. 134. Positions de la manivelle motrice et du rayon de l'excentrique, pour l'étude de la distribution sur la face arrière du piston. — Fig. 135, 136, 137, 138, 139, 140. Positions diverses du tiroir.

*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  $O M_2$ .

Suivons encore le tiroir dans son mouvement, représenté par celui du point  $t$ , qui 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 (fig. 137), 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  $E I$  de la bande du tiroir, diminuée de la largeur  $E' I'$  de la lumière.

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* (fig. 138); puis il revient en arrière et la lumière se ferme vers l'intérieur quand le point  $I$  repasse sur  $I'$  (fig. 139), c'est-à-dire quand  $t$  repasse en  $t_3$ ; le centre de l'excentrique est alors en  $T_5$ , et la *compression* commence. Quant  $t$  repasse sur  $t_2$ ,  $T$  étant en  $T_6$ ,  $E$  repasse sur  $E'$  (fig. 140) et le tiroir commence à ouvrir la lumière pour l'*admission anticipée*.

On étudie de même la distribution sur l'autre face du piston (fig. 141 à 147), en examinant le déplacement des bords  $E_1$  et  $I_1$ , du tiroir par rapport aux bords  $E'_1$  et  $I'_1$  de la lumière de droite. Nous indiquerons sommairement 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 à  $O T_1$ . Le tiroir a l'*avance linéaire*  $E'_1 E_2$ , égale à  $t'_1 t'_2$  (fig. 142). L'*admission* cesse et la *détente* commence quand le point  $t$  passe en  $t'_2$  (fig. 143); l'*échappement anticipé* commence quand il est en  $t'_3$  (fig. 144), et l'*échappement* cesse quand il repasse au même point (fig. 146); enfin l'*admission anticipée* commence quand il est en  $t'_2$  (fig. 147).

Il convient d'examiner 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  $OT$  avec la perpendiculaire à la manivelle motrice  $OM$ , (fig. 148, p. 151).

Une distribution est entièrement définie, et l'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.

Nous avons rapporté 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 par-

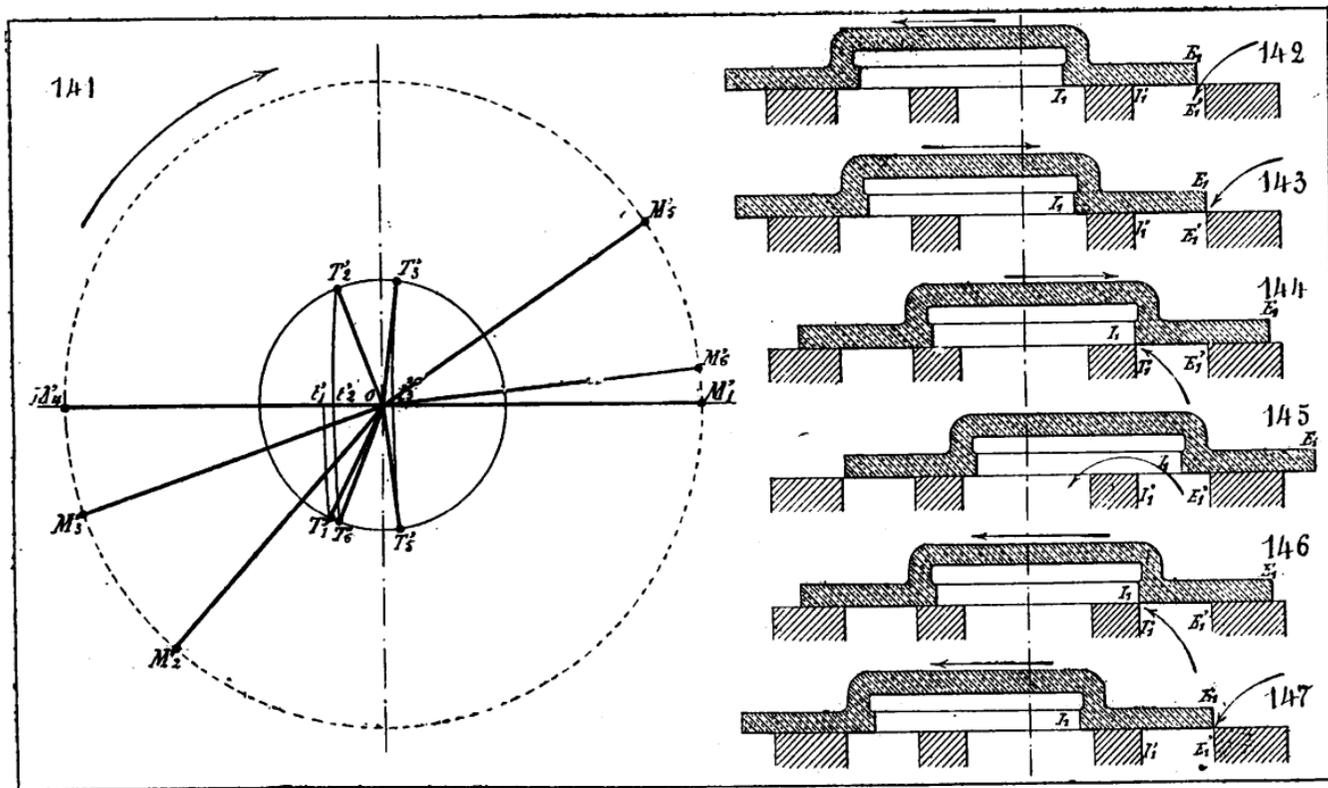


Fig. 141. — Positions de la manivelle et de l'excentrique, pour la distribution sur la surface avant du piston.  
 Fig. 142, 143, 144, 145, 146, 147. Positions diverses du tiroir.

couru 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 :

	Face arrière du piston	Face avant du piston
Admission . . . . .	72	82
Détente . . . . .	23	14
Echappement anticipé . . . . .	5	4
Echappement . . . . .	92	90
Compression. . . . .	8	10
Admission anticipée . . . . .	0	0

Par assimilation avec la locomotive, nous appelons face *arrière* du piston celle qui regarde l'arbre moteur. 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, que nous citons comme exemple, sont les suivants : avance angulaire,  $30^\circ$  ; course du tiroir, 100 mm ; avance linéaire, égale des deux côtés, 3 mm ; recouvrement extérieur, 22 mm ; recouvrement intérieur, 5 mm ; longueur de la bielle motrice, 5 fois celle de la manivelle motrice ; longueur de la barre d'excentrique,  $2^m,500$ .

Les chiffres du tableau ne sont pas les mêmes pour les deux côtés du piston ; les différences seront d'autant moindres que la barre d'excentrique et surtout la bielle motrice seront plus longues. Il résulte de ces différences que le travail de la vapeur n'est pas identiquement le même 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. 132, p. 154), le chemin parcouru par le piston est moindre que lorsque la manivelle décrit un angle égal  $M'_1 OM'$  à partir de son point mort avant ; on le voit aisément en appliquant au piston le même tracé qu'au tiroir, à l'aide d'une équerre dont le petit côté est taillé en arc de cercle avec un rayon convenable.

Si on relève à l'indicateur le diagramme sur les deux faces du piston, on y peut voir les parcours du piston pendant les diverses phases de la distribution : sur la figure 149, nous avons placé les deux diagrammes de manière à montrer clairement ces parcours, exprimés en centièmes de la course. (Voyez aussi la fig. 99, p. 121.)

**96. Réglage d'un tiroir.** — Quand on monte une machine, l'excentrique est calé suivant l'angle déterminé sur l'épure ; la barre d'excentrique a la longueur fixée par le dessin ; mais on laisse souvent aux monteurs le soin de régler à la longueur convenable la tige qui relie

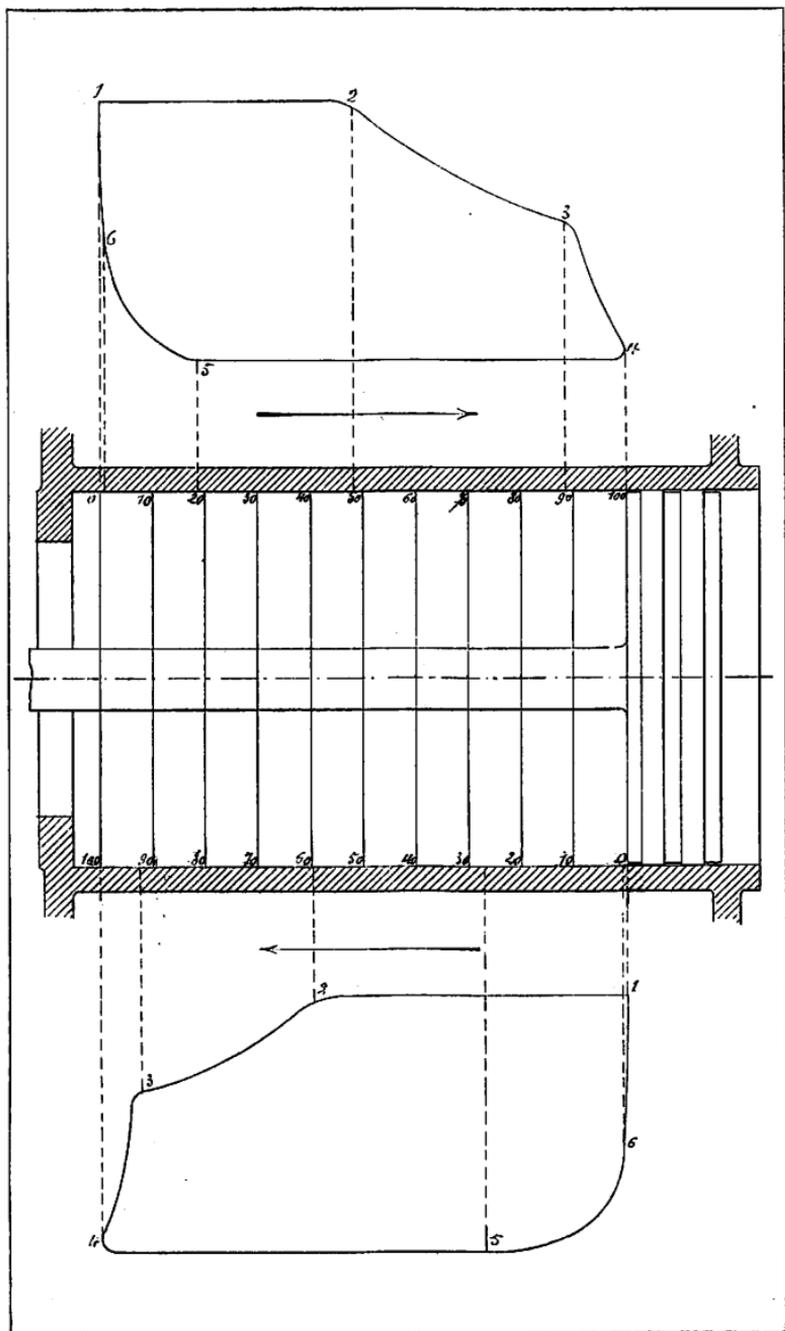


Fig. 149. — Diagrammes rapprochés des positions du piston.

le tiroir à cette barre, parce que la position du cylindre peut ne pas être rigoureusement celle qui a été prévue. Parfois cette tige est filetée à cet effet et munie d'*écrous de réglage*, qui permettent d'en faire varier la longueur. Mais si la machine a été bien réglée à l'atelier, il n'y a plus à y toucher et les écrous de réglage ne peuvent plus servir qu'à dérégler la machine : il vaut donc mieux les supprimer.

Pour régler la tige du tiroir, on place successivement la manivelle motrice à ses deux points morts, le plateau du tiroir étant démonté, et on relève l'*avance linéaire* donnée par le tiroir des deux côtés, en mesurant la distance entre les bords que nous avons désignés par les lettres  $E E'$  d'une part et  $E_1 E'_1$  d'autre part. Si la tige est trop longue, on trouve une grande avance linéaire du côté de la manivelle et, de l'autre côté, une petite avance, ou même on ne trouve aucune avance : la vapeur entrerait trop tôt d'un côté du cylindre, et pas assez tôt de l'autre. Si la tige est trop courte, les avances sont encore inégales, mais en sens inverse. Il convient que les avances linéaires soient égales entre elles ou ne diffèrent pas trop : aussi le plus simple est-il de régler la distribution avec *avances linéaires égales*, en modifiant convenablement la longueur de la tige.

Le réglage se fait à froid : or, la chaleur allonge ou *dilate* les métaux. La tige du tiroir s'allonge donc un peu quand la machine fonctionne. Mais, dans la locomotive, ces tiges sont assez courtes pour que cet effet soit négligeable. On trouvera à la fin du § 100 quelques indications sur le réglage des tiroirs de locomotive, conduits non par un simple excentrique, mais par une coulisse.

**97. Marche arrière.** — La distribution étudiée dans les § 95 et 96 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*. De l'étude que nous venons de faire, nous pouvons déduire facilement le moyen de construire deux machines distinctes, dont l'une tournerait *en avant*, et l'autre *en arrière*. La première de ces machines ayant sa manivelle en  $O M_1$  et le rayon de l'excentrique en  $O T_1$  (fig. 150), il suffirait de prendre pour rayon de l'excentrique de la seconde  $O T'_1$ , symétrique de  $O T_1$  par rapport à l'axe  $M_1 M_2$ , la manivelle restant en  $O M_1$  : en refaisant nos tracés, nous allons retrouver dans les deux cas, pour les diverses phases de la distribution, des parcours égaux de la manivelle ; seulement les uns seront faits dans le sens de la flèche marquée  $AV$ , et les autres en sens contraire, suivant la flèche  $AR$ .

Au lieu de considérer deux machines distinctes, supposons que nous calions deux excentriques ayant pour rayons  $O T_1$  et  $O T'_1$  sur un arbre unique : si nous pouvons relier à volonté la tige du tiroir avec une barre d'excentrique articulée sur  $T_1$ , ou avec une seconde

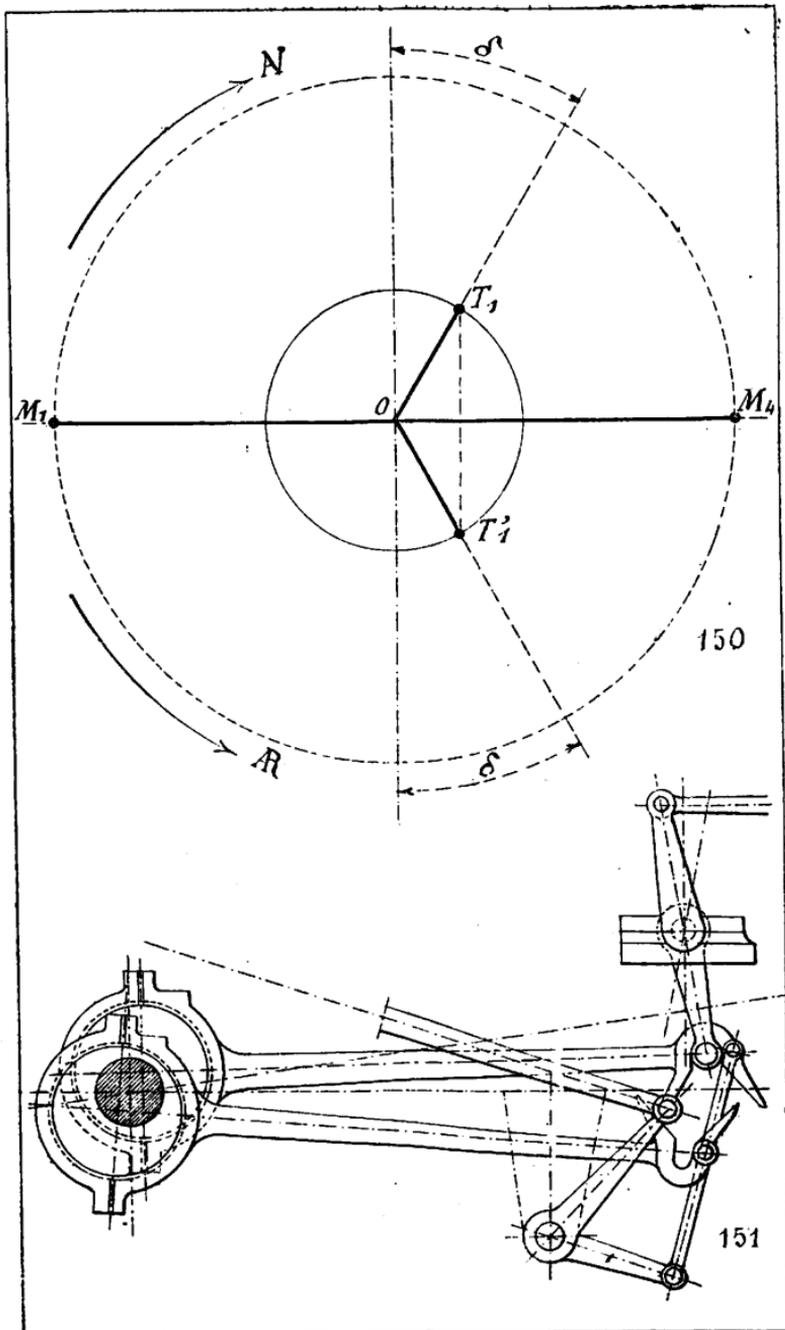


Fig. 150. — Excentriques pour les deux sens de marche.  
 Fig. 151. Pied-de-biche.

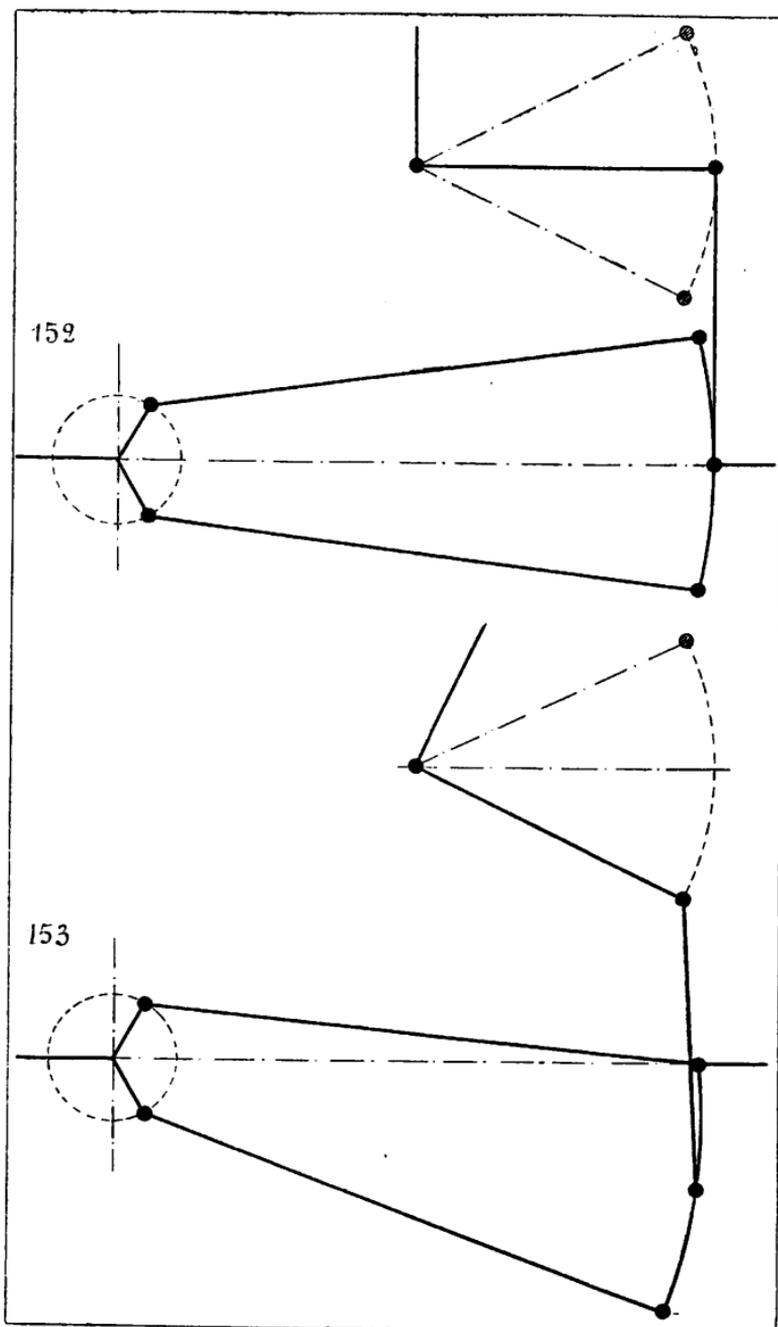


Fig. 152. — Coulisse de Stephenson au point mort du changement de marche. — Fig. 153. Coulisse de Stephenson pour la marche avant.

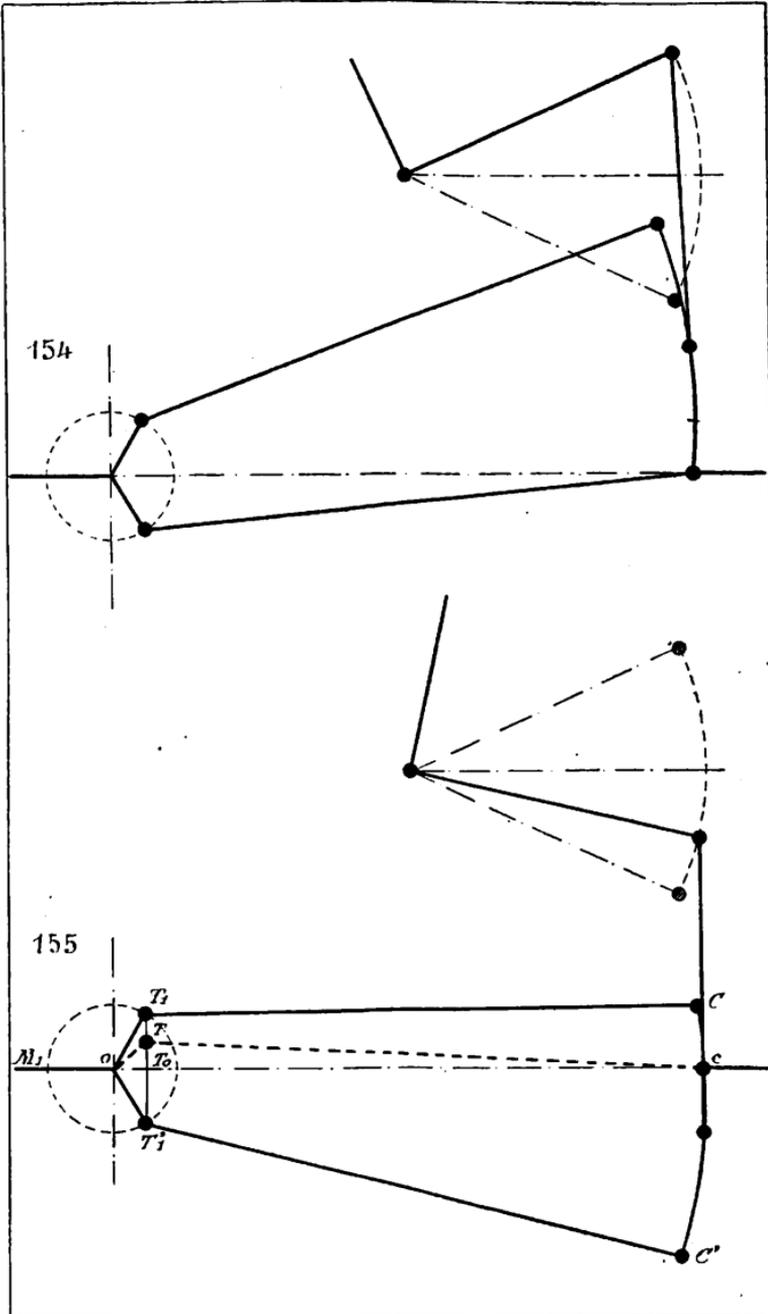


Fig. 154. — Coulisse de Stephenson, pour la marche arrière.  
 Fig. 155. — Coulisse de Stephenson, dans une position intermédiaire.

barre articulée sur  $T'_1$ , nous aurons le moyen d'obtenir les distributions convenables pour les deux sens de marche.

C'est effectivement ce qu'on a réalisé dans les premières locomotives, à l'aide d'un mécanisme dit *pied-de-biche* (fig. 151). Les extrémités des deux barres d'excentrique étaient reliées au levier de l'arbre de relevage par deux tiges de suspension, qui se projettent l'une sur l'autre dans la figure 151.

**98. Coulisse de Stephenson.** — Stephenson a beaucoup perfectionné la locomotive en substituant la *coulisse* à la ferraille des pieds-de-biche. Montons encore sur l'essieu les deux excentriques, chacun avec sa barre ; relient les bouts des deux barres par un guide (fig. 152), dans lequel peut glisser un *coulisseau* fixé sur la tige du tiroir, laquelle est guidée en ligne droite ; suspendons le guide ou *coulisse*, en son milieu, par une tige qui s'articule à l'extrémité d'un levier de l'arbre de relevage. Fixons l'arbre de relevage dans une position telle que le coulisseau se trouve à l'extrémité supérieure de la coulisse (fig. 153), c'est-à-dire au point où s'articule une des barres : le tiroir sera conduit par cette barre. Manœuvrons maintenant l'arbre de manière à relever la coulisse et à faire conduire le coulisseau par son extrémité inférieure (fig. 154), c'est-à-dire par l'autre barre d'excentrique. Nous passerons ainsi d'une des marches à l'autre par un mouvement continu, sans disjoindre aucune articulation, sans chocs.

On a bientôt reconnu que la coulisse pouvait rendre d'autres services qu'un simple appareil de changement de marche. Au lieu de placer l'arbre de relevage dans les positions limites, où l'une des extrémités de la coulisse conduit la tige du tiroir, fixons-le dans une position telle que le coulisseau se trouve en un point intermédiaire de la coulisse (fig. 155) et mettons la machine en marche ; le tiroir prendra un certain mouvement, dont l'étude, assez difficile, a été faite avec grand soin. On a reconnu que, pour chaque position de l'arbre de relevage, le mouvement du tiroir était, à très peu de chose près, celui que pourrait lui donner un certain excentrique, d'angle de calage et de rayon différents. C'est ce qu'on appelle l'*excentrique fictif* du tiroir, excentrique qui n'existe pas, mais qui, s'il était construit, remplacerait tout le mécanisme de la coulisse, 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  $O M_1$ , tous leurs centres se trouvent sur un arc de cercle de grand rayon joignant les centres  $T_1$  et  $T'_1$  des deux excentriques (fig. 155) ; et, si la position de l'arbre de relevage est telle que le point  $c$  de la coulisse saisisse le coulisseau, le centre  $T$  de l'excentrique fictif divise l'arc  $T_1 T'_1$ , comme le point  $c$  divise la coulisse  $CC'$ . Ainsi que nous venons de le dire, si on supprimait le mécanisme de la cou-

lisse, en exécutant un excentrique O T, qui conduirait le tiroir par une barre Tc, on obtiendrait la même distribution de vapeur qu'avec la coulisse dans la position considérée.

Or, nous savons tracer la distribution que donne un excentrique quelconque O T. En faisant ce tracé, nous reconnaitrons que la distribution donnée par O T diffère de celle donnée par O T<sub>1</sub> : 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 T se rapproche davantage du milieu T<sub>0</sub> de T<sub>1</sub> T'<sub>1</sub>; en d'autres termes, elles s'accroissent à mesure que le rayon de l'excentrique fictif diminue et que son angle de calage augmente.

La coulisse permet ainsi d'obtenir des distributions avec *admission variable* : la quantité de vapeur admise dans le cylindre diminue à mesure que le point T s'éloigne de T<sub>1</sub> 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<sub>1</sub> à T<sub>0</sub>.

**99. Manœuvre de l'arbre de relevage.** — Un mécanisme, placé à la main du mécanicien, permet de manœuvrer l'arbre de relevage et de le fixer dans chacune de ses positions. Ce mécanisme était autrefois et est souvent encore un *levier* dit de *changement de marche* (fig. 156), maintenu par un verrou à ressort, engagé dans un cran d'un *secteur* ou arc de cercle denté. On préfère généralement aujourd'hui commander l'arbre de relevage par une *vis de changement de marche* (fig. 157), munie d'un 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 au mécanicien 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, pour la marche avant ou la marche arrière. 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.

Parfois cette graduation est arbitraire et n'indique pas les admissions : les traits de la réglette sont alors de simples repères.

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

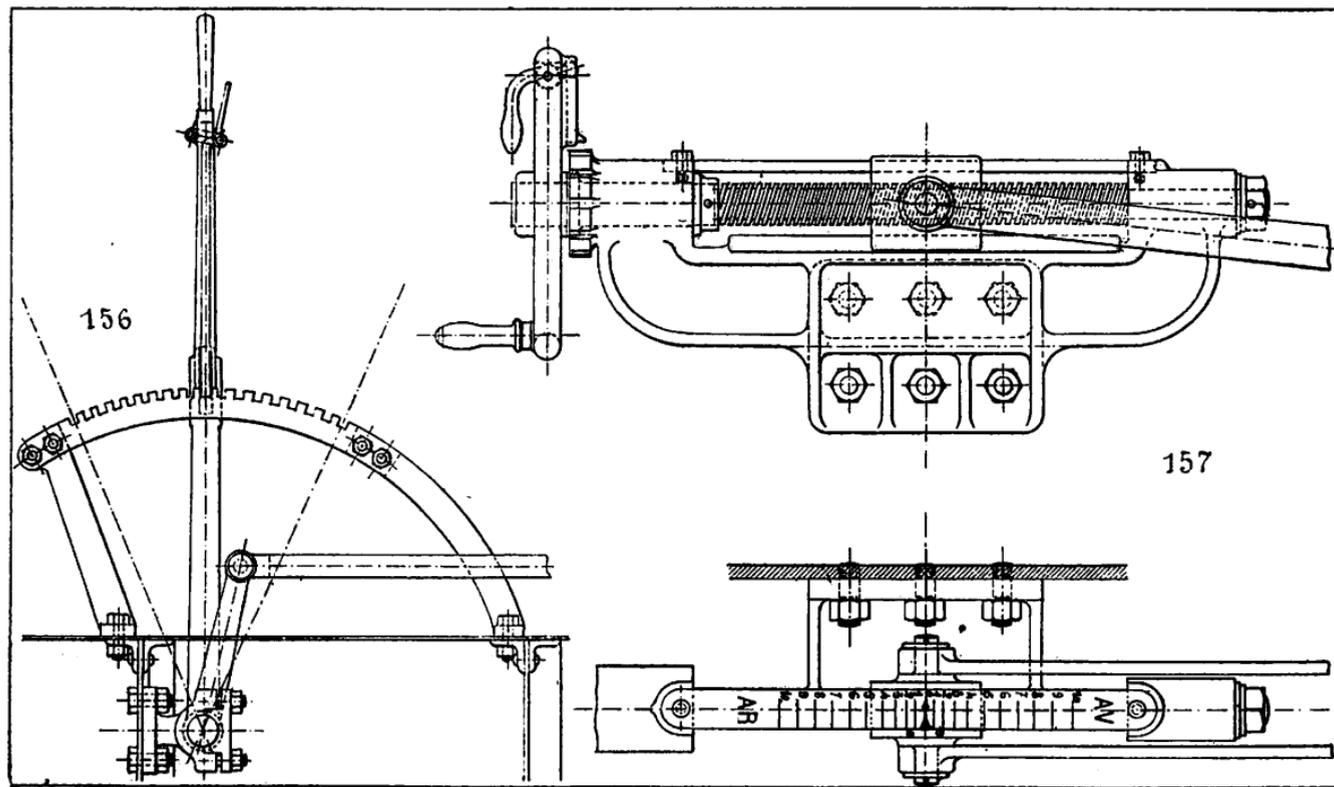


Fig. 156. Levier de changement de marche. — Fig. 157. Vis de changement de marche (élévation et plan).

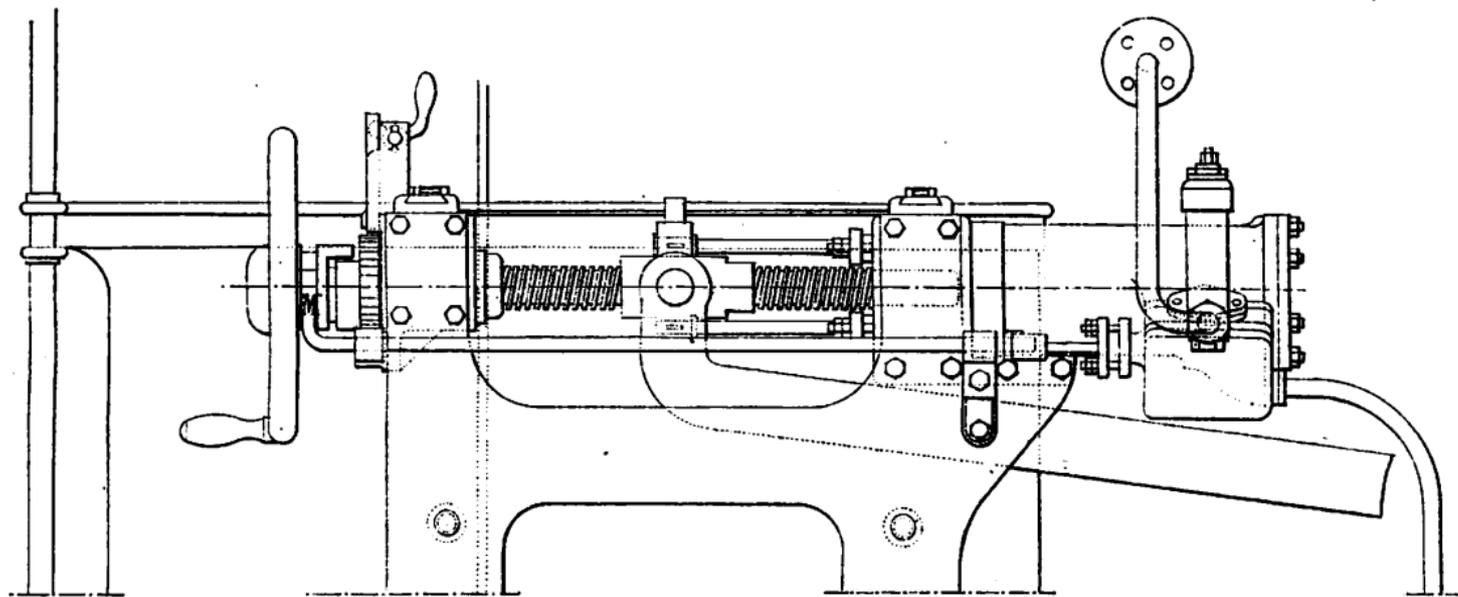


Fig. 157 bis. — Changement de marche à vapeur de la compagnie de Lyon.

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, ce qui supprime aussi le levier tiré par le ressort.

La manœuvre du levier est pénible sur les grandes locomotives; en outre, il présente quelque danger, car, mal enclenché sur son secteur, il peut se déplacer brusquement et frapper violemment 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.

Sur les locomotives des compagnies de l'Est et de Lyon, les vis de changement de marche sont disposées de telle sorte qu'en les tournant de gauche à droite à leur partie supérieure (dans le sens des aiguilles de montre), on mette toujours la marche à l'avant.

La manœuvre du volant du changement de marche exige un effort assez considérable sur certaines machines : on la facilite beaucoup en produisant cet effort au moyen d'un petit cylindre à vapeur. Dans l'appareil à *contrepois de vapeur* (fig. 157 bis), en usage à la compagnie de Lyon, 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 lorsqu'on manœuvre la vis.

Sur les locomotives compound à quatre cylindres de la même compagnie, deux barres distinctes commandent les arbres de relevage des deux mécanismes; l'appareil de manœuvre par la vapeur est double; il est combiné de telle sorte que les deux arbres de relevage prennent simultanément les positions déterminées d'avance. Le mécanicien n'a qu'un seul volant à manœuvrer.

Des cylindres pleins d'huile, avec pistons, servent à immobiliser l'appareil, en s'opposant à tout mouvement tant que l'huile ne peut passer d'un côté à l'autre du piston; ce passage n'est possible que lorsqu'on ouvre une communication ménagée à cet effet.

Les figures 237 et 237 bis montrent, à l'avant de la roue motrice, les cylindres d'un changement de marche à vapeur d'un type différent de celui que nous venons de décrire.

**100. Variations des avances linéaires.** — On peut profiter de la visite des tiroirs d'une locomotive, conduits par une coulisse de Stephenson, pour se rendre compte de la variation des avances linéaires suivant la position de l'arbre de relevage : il suffit de placer la machine de telle sorte que le tiroir ait ce qu'on est convenu d'appeler l'avance linéaire; en d'autres termes, on mettra le piston à fond de course ou la manivelle à un de ses points morts. Manœuvrons alors l'arbre de relevage au moyen de l'appareil de changement de marche : on verra 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

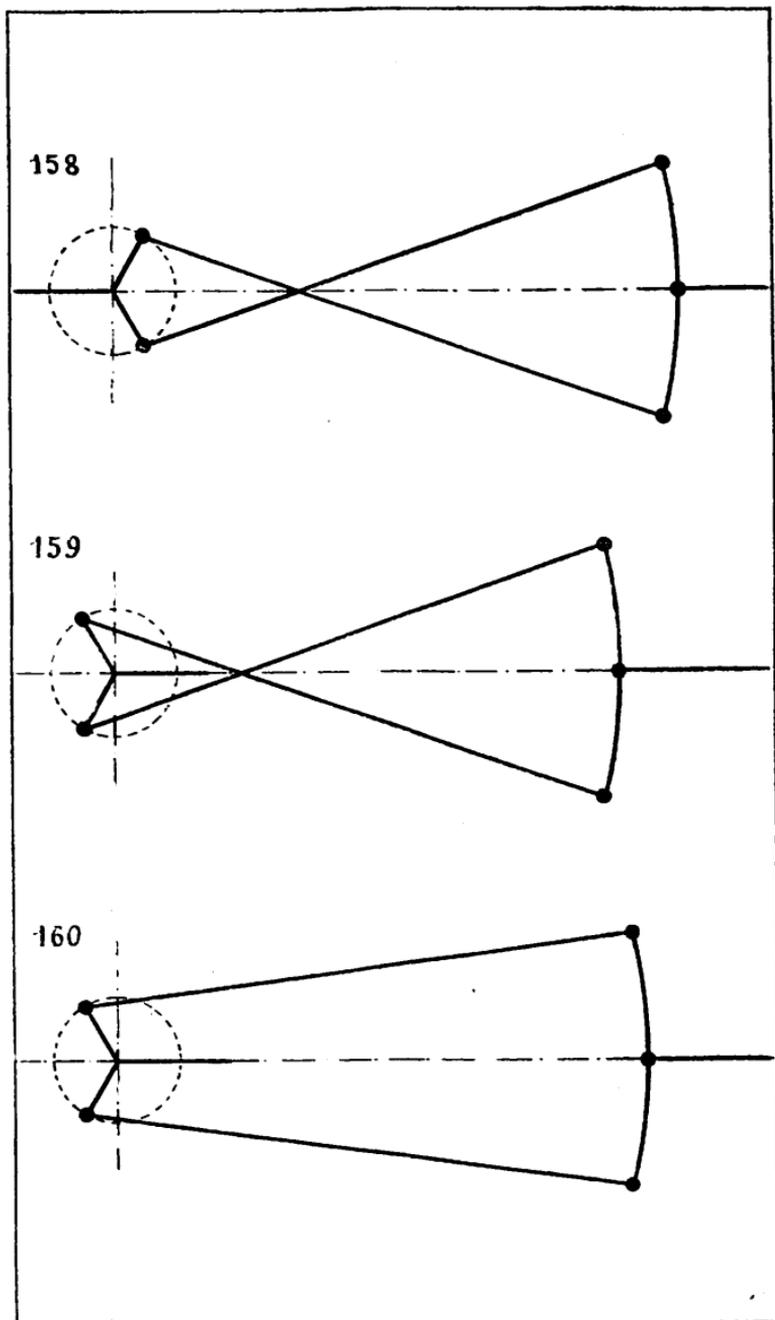


Fig. 158. Coulisse de Stephenson à barres croisées. — Fig. 159. Barre droite après un demi-tour. — Fig. 160. Barres croisées après un demi-tour.

marche se rapprochera du zéro de la réglette, c'est-à-dire à mesure que le coulisseau sera 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, comme on le voit sur les figures 158 à 160, 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 on peut dire, d'une manière générale, que cette position de l'index 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.

La variation des avances, telle que nous venons de l'indiquer, se produit avec la coulisse de Stephenson dans sa disposition ordinaire, avec des barres *droites* ou *ouvertes* (fig. 152). Si les barres étaient *croisées* ou *fermées* (fig. 158), 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 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 (fig. 159) et les barres croisées se décroisent (fig. 160).

Avec d'autres systèmes de distribution, dont nous parlons un peu plus loin, les avances linéaires restent toujours les mêmes, quel que soit le *cran de marche*.

Nous avons dit, au § 96, comment on réglait un tiroir avec avances linéaires égales, pour une machine fixe avec un seul excentrique. Sur la locomotive, on procède de même, mais en plaçant au préalable le changement de marche dans une position déterminée, généralement celle qui correspond à une admission d'environ 40 p. 100 de la course.

**101. Exemple de distribution par coulisse de Stephenson.** — Le tableau ci-après donne, en centièmes de sa course, le parcours du piston pendant chaque phase de la distribution, aux divers crans de marche, pour les machines tenders n<sup>os</sup> 613-728 de la compagnie de l'Est.

On voit qu'il y a d'assez fortes inégalités dans les longueurs des phases de la distribution pour les deux faces du piston. En traçant les distributions, on cherche à atténuer ces inégalités, surtout pour la marche vers les crans 2 et 4.

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			
	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		
Échappement anticipé..	6	8	11	14	20	23	24	38	44	47	34	39	19	24	10	14	6	8		
Échappement.	91	93	85	87	74	77	58	63	49	53	58	63	73	78	84	88	91	93		
Compression.	9	7	14	12	24	21	36	32	39	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		

**102. Construction de la coulisse de Stephenson.** — 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 cimentées et trempées : des trous de graissage permettent d'y verser un peu d'huile (fig. 161, élévations transversale et longitudinale, coupe par un plan horizontal).

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. Lorsque l'usure a exagéré le jeu, on peut souvent, lors d'une réparation, aléser les œils et y rapporter des bagues, de manière à conserver les pièces usées.

Un *coulisseau* en fer cimenté 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. 106 bis, p. 128) ; 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 cimentée 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 à ce 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 (tracé dans l'angle supérieur droit de la feuille).

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

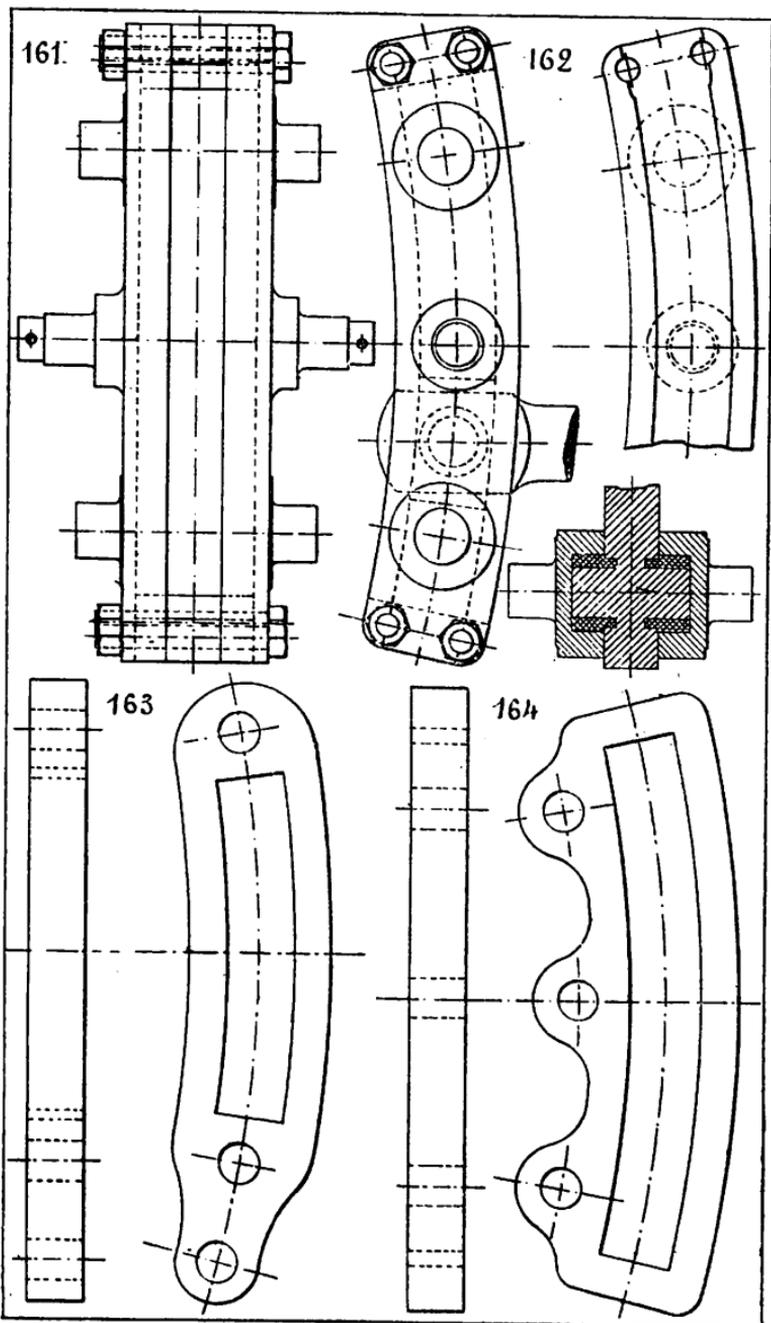


Fig. 161. Coulisse de Stephenson à flasques. — Fig. 162. Flasque disposée pour la rectification à la meule. — Fig. 163. Coulisse découpée. — Fig. 164. — Coulisse découpée avec articulations déplacées.

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, comme le montre la figure 163. Avec cette disposition, la course du coulisseau est réduite et on ne peut pas le 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 obtienne, 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 saisit le coulisseau en avant des trous qui reçoivent les axes d'articulation (fig. 164).

**103. 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 l'un de ces systèmes, plus que ses avantages propres comme appareil de distribution.

La coulisse de Gooch (fig. 165) et celle de Stephenson présentent leur courbure en sens inverse. 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 d'une *bielle* AB, qui commande en B la tige du tiroir, guidée en ligne droite ; c'est cette bielle AB qui est pendue au levier de l'arbre de relevage : en manœuvrant cet arbre, on promène le coulisseau A le long de la coulisse. Le *rayon* du cercle qui forme l'axe de la coulisse est précisément la longueur AB.

Avec cette coulisse, l'avance linéaire du tiroir est invariable, quelle que soit la position de l'arbre de relevage : en effet, quand la manivelle motrice est à un de ses points morts, en  $OM_1$ , les rayons des deux excentriques se placent symétriquement par rapport à l'axe OX du cylindre, en  $OT_1$  et  $OT'_1$  ; la coulisse, en CC', est également symétrique par rapport à cet axe ; le tiroir est dans sa position dite d'avance linéaire. Or, si on fait jouer le changement de marche, le point A, restant dans la coulisse, va décrire un cercle autour du centre B, qui ne bougera pas, puisque la coulisse est justement un arc de cercle de rayon AB ; le tiroir restera immobile, ce qui veut dire qu'il présentera la même avance linéaire quel que soit le cran de marche. Il en est de même si l'on considère l'autre point mort de la manivelle, en  $OM'_1$ . Cette constance des avances linéaires n'existe plus, si, comme on le voit sur quelques machines, le rayon de la coulisse n'est pas exactement la longueur AB, ou si l'excentrique  $OT'_1$  n'est pas symétrique de  $OT_1$ , mais calé avec un angle d'avance différent.

La constance des avances linéaires n'entraîne pas celle des périodes d'admission anticipée aux divers crans de marche : cette phase de la



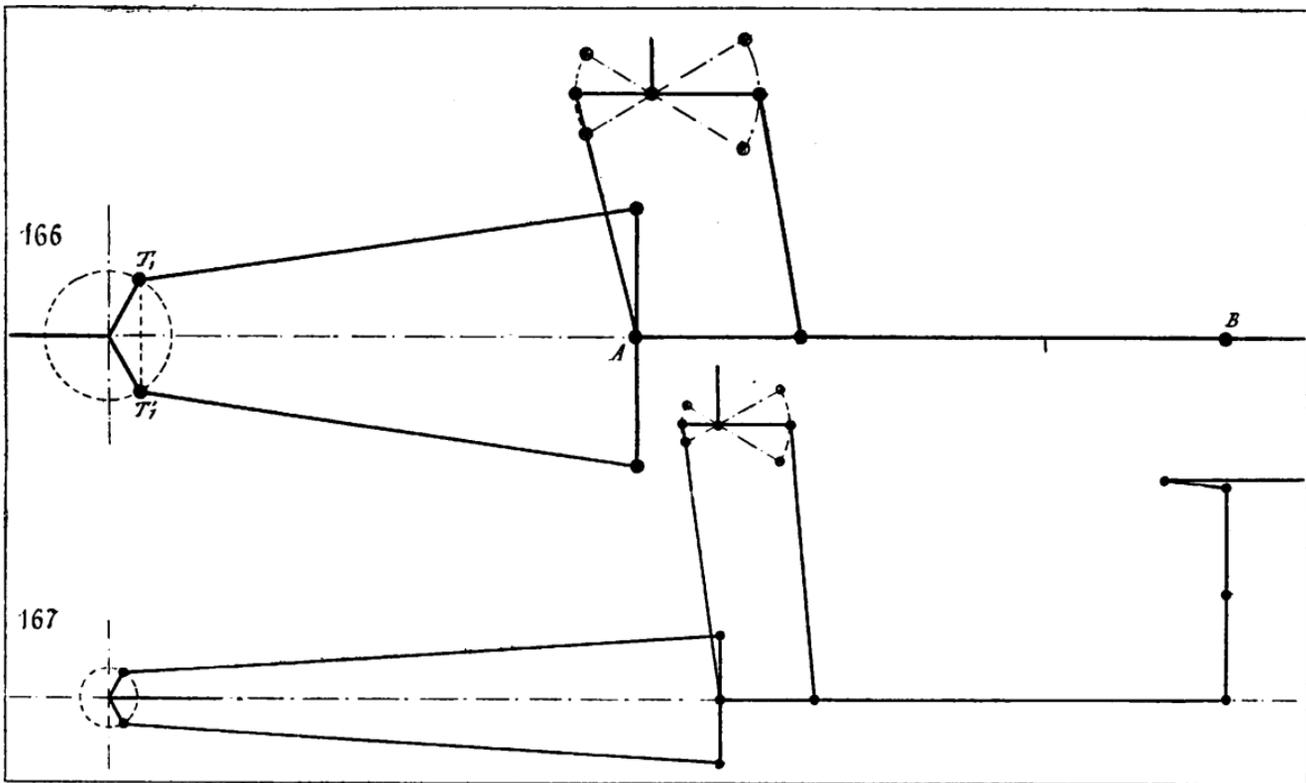


Fig. 166. — Coulisse d'Allan. — 167. Coulisse d'Allan, avec balancier de renvoi.

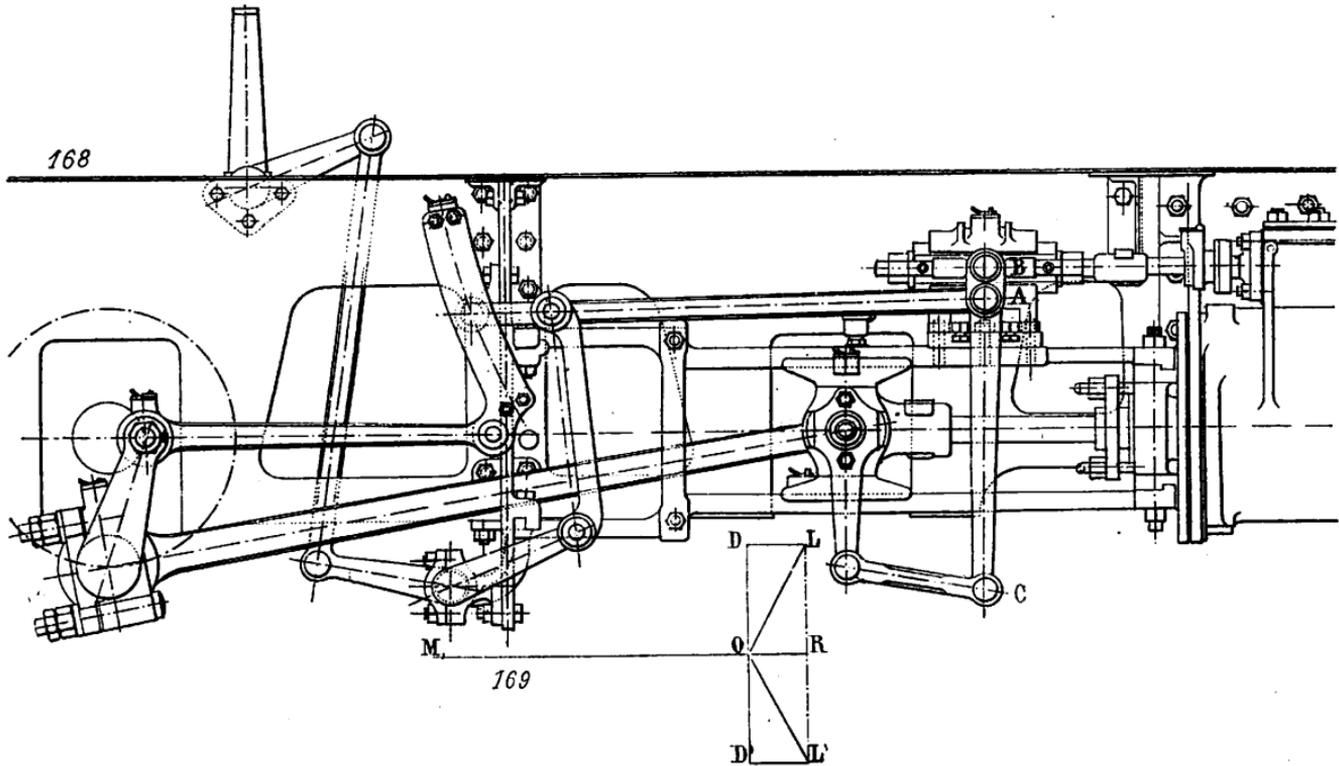


Fig. 168. Distribution Walschaert. — Fig. 169. Excentriques fictifs de la distribution Walschaert.

distribution correspond à des parcours du piston de plus en plus longs à mesure que le changement de marche se rapproche de son point mort.

Les centres des excentriques fictifs, qui conduiraient le tiroir comme le fait la coulisse de Gooch, sont situés sur la ligne droite  $T_1 T'_1$ , sauf avec les dispositions anormales que nous venons d'indiquer.

La coulisse de Gooch occupe une longueur plus grande sur la locomotive que celle de Stephenson, puisqu'il faut loger en plus la bielle AB.

**104. Coulisse d'Allan.** — Les coulisses de Stephenson et de Gooch sont courbées en sens inverses ; celle d'Allan est toute droite ; elle est suspendue à l'arbre de relevage (fig. 166) par son milieu, mais l'appareil comprend, comme celui de Gooch, une bielle AB qui porte en A le coulisseau et qui s'articule en B sur la tige du tiroir : cette bielle est également suspendue à l'arbre de relevage. Les deux suspensions sont disposées de telle sorte que l'une s'élève quand l'autre descend. Par ce double mouvement, le coulisseau A se promène tout le long de la coulisse : on l'arrête dans telle position qu'on juge convenable.

Les centres des excentriques fictifs qui pourraient remplacer une coulisse d'Allan forment l'arc de cercle  $T_1 T'_1$  voisin de la ligne droite. 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. Il est commode pour la transmission directe du mouvement, et aussi quand un balancier de renvoi conduit le tiroir (fig. 167).

**105. Distribution Walschaert.** — On fait souvent usage, surtout en Belgique, du mécanisme de distribution de *Walschaert* (fig. 168), commode lorsque les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres ; retourné sens dessus dessous, il convient également quand les tiroirs sont placés sous les cylindres. Ce mécanisme n'a qu'un excentrique, qui est réduit à un simple bouton sur une *contre-manivelle*, quand il est à l'extérieur de la machine, comme sur la figure 168. Cet excentrique unique est calé à *angle droit* sur la manivelle motrice (par conséquent, son *avance angulaire* est nulle) ; 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 pas 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

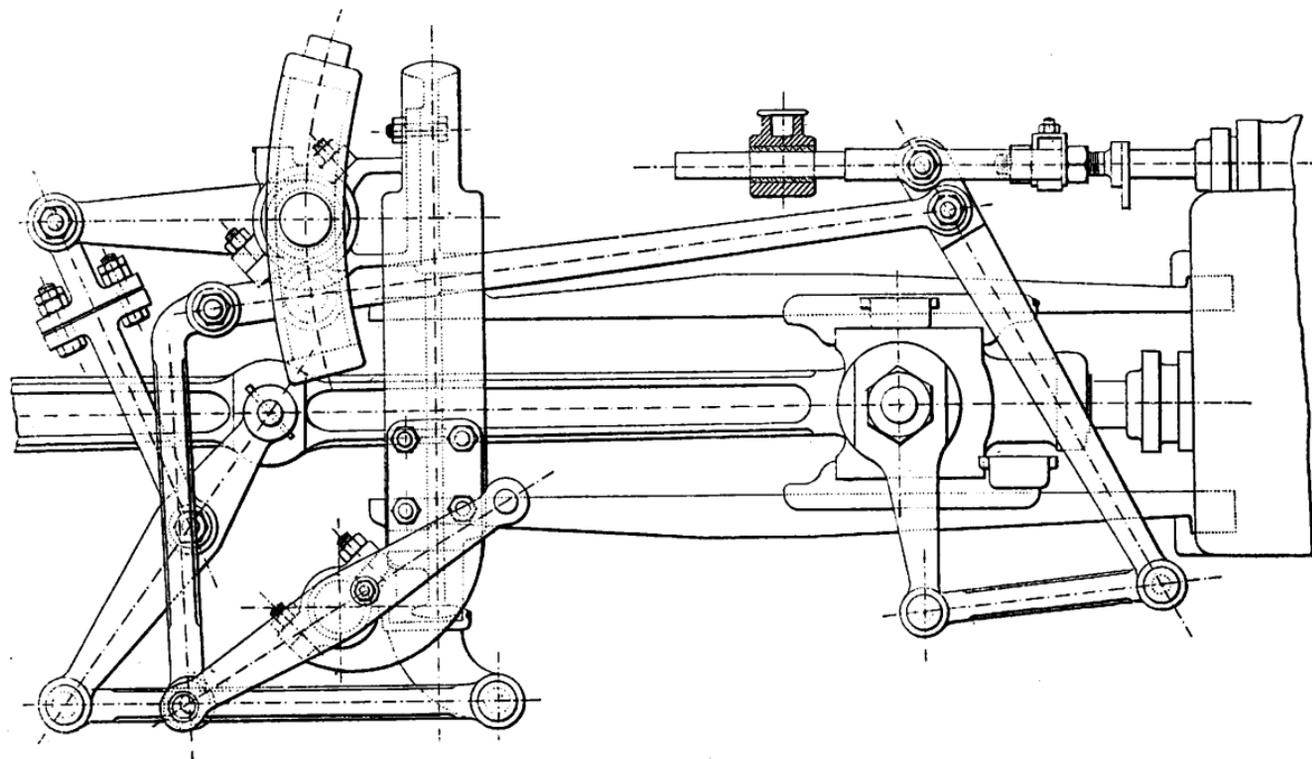


Fig. 169 bis. — Distribution sans excentrique de la compagnie de l'Ouest.

la manivelle motrice est à son point mort, on peut promener le coulisseau tout 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 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, il suffit (fig. 169) de prendre OD et OD' égaux au rayon de l'excentrique et 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.

**105 bis. Systèmes divers de distribution.** — Il existe bien des systèmes de distribution, avec changement de marche, autres que ceux de Stephenson, de Gooch, d'Allan et de Walschaert, surtout sur les moteurs fixes et les machines marines. Certaines dispositions suppriment tout excentrique et comportent une prise de mouvement en un point de la bielle motrice : c'est ainsi que les locomotives à bogie de la compagnie de l'Ouest (fig. 237 bis) ont un mécanisme analogue à celui de Walschaert, mais où l'excentrique qui fait osciller la coulisse est remplacé par un système articulé vers le milieu de la bielle motrice et au bout d'un levier calé sur l'axe d'oscillation, perpendiculairement à la coulisse (fig. 169 bis).

La locomotive de Webb, représentée figure 244, est également munie d'une distribution sans excentriques, du système Joy.

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.

**106. Marche au point mort de la distribution.** — En plaçant l'index du mécanisme de changement de marche sur le zéro de la réglette ou au *point mort*, on fait conduire le coulisseau par le milieu de la coulisse, et le mouvement du tiroir est à peu près celui que lui donnerait un excentrique de rayon  $OT^0$ , calé à l'opposé de la manivelle motrice (fig. 170), c'est-à-dire avec une *avance angulaire* de  $90^\circ$ . Cette distribution sera la même pour la marche avant et la marche arrière, ce qui étonne à première vue certaines personnes. On s'en rend compte en suivant le mouvement donné au tiroir par cet excentrique, d'après

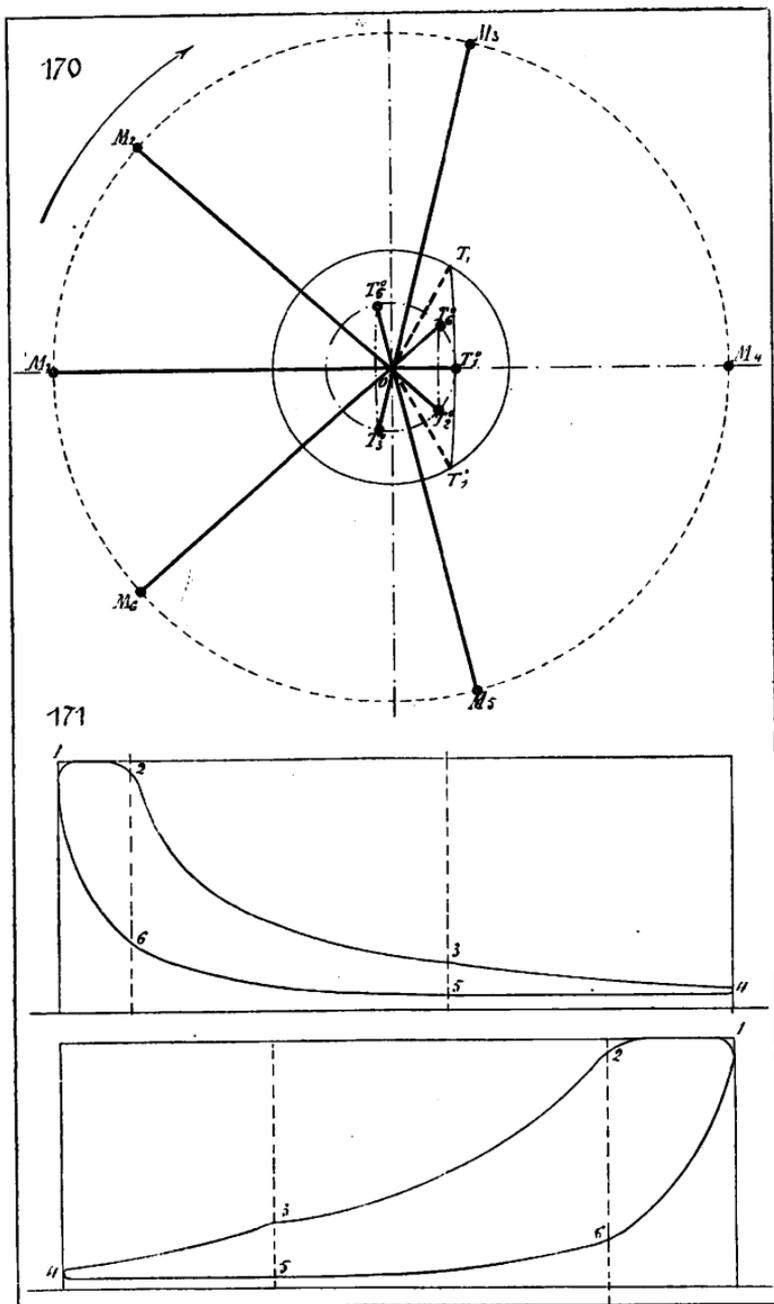


Fig. 170. — Distribution au point mort du changement de marche.  
 Fig. 171. — Diagrammes correspondants du travail de la vapeur.

la méthode exposée au § 95, pour les deux sens de marche. Prenons la marche avant, dans le sens de la flèche de la figure 170 : on voit que la détente commence, pour l'arrière du piston, quand le rayon de l'excentrique est en  $O T_3$  et la manivelle à l'opposé; l'échappement anticipé commence lors du passage en  $O T_3$  et  $O M_3$ ; la compression en  $O T_5$  et  $O M_5$ ; l'admission anticipée, en  $O T_6$  et  $O M_6$ . Le piston refait, 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 pour cela. En effet, la marche de la machine étant rapide et les lumières ne s'ouvrant pas largement, il n'entre pas beaucoup de vapeur pendant l'admission anticipée; c'est surtout pendant la période d'admission que s'exerce la pression, alors motrice; puis la pression, pour chaque position du piston, est plus forte pendant la détente que lorsque le piston repasse au même point pendant la compression; enfin 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, donnés pour les deux faces (fig. 171).

Les tracés pour la marche arrière se font de même, et les diagrammes sont pareils. Si les points de ces diagrammes ne paraissent pas correspondre exactement aux positions de la manivelle sur la figure, les écarts tiennent à l'obliquité de la bielle motrice.

Si la marche au point mort même de la distribution est possible, elle n'est guère recommandable, car l'échappement anticipé se produit quand il reste encore au piston beaucoup de chemin à parcourir; il en résulte une perte sensible du travail moteur que pourrait donner la vapeur; en outre, l'ouverture de la lumière est trop forte pour l'admission anticipée et trop faible pour l'admission.

Pendant les stationnements, il ne faut pas négliger de placer au point mort le changement de marche, parce que c'est la position pour laquelle les ouvertures des lumières d'admission sont les plus faibles : elle laisse le moins de chances de mise en marche, si le régulateur vient à fuir ou à s'ouvrir.

**107. Tiroirs à tige inclinée et avec balancier.** — L'axe du mouvement du tiroir n'est pas toujours parallèle à celui du cylindre, comme nous l'avons supposé jusqu'ici. L'inclinaison de cet axe (fig. 172) rend facile l'installation du tiroir au-dessus du cylindre (voir fig. 105). Le tiroir se meut alors suivant  $O X'$ , mais la loi de son mouvement doit rester la même que lorsque  $O X$  était parallèle à  $O X$ , 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  $O X'$ , et la véritable avance angulaire se compte à partir de la perpendiculaire à  $O X'$ .

Parfois c'est un balancier de renvoi (fig. 173) qui communique le



mouvement au tiroir : il faut alors caler les excentriques juste à l'opposé (ou à  $180^\circ$ ) de leur position normale ; leurs centres sont en  $OT_1$  et  $OT'_1$  quand la manivelle motrice est en  $OM_1$ . La figure 173 représente une coulisse à *barres croisées* (§ 100).

La commande par un arbre de renvoi existe sur les machines représentées figure 191, et sur certaines locomotives à grande vitesse de la compagnie de l'Ouest (fig. 103 *bis*), dont les tiroirs sont placés au-dessus des cylindres intérieurs, tandis que les coulisses sont à l'extérieur des roues.

**108. Tiroir à canal.** — Si l'on ménage dans le tiroir un canal qui va d'une bande à l'autre (fig. 174), et dont les bords  $B, B_1, C, C_1$ , sont parallèles aux bords  $E, I, E_1, I_1$  ; si on limite la table par des bords  $C', C'_1$  convenablement placés, on augmente la section de passage de vapeur pour l'admission, et cela sans aucune modification du 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  $C'_1$  de la table ; quand le tiroir se sera légèrement déplacé au delà de cette position, la vapeur va entrer non seulement entre  $E$  et  $E'$ , mais aussi entre  $C_1$  et  $C'_1$  et par le canal.

Le canal fonctionne de même (fig. 175) pour l'admission par 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 pour cela que, dans la plus grande course du tiroir, le bord  $B$  n'atteigne pas le bord  $I'$  de la lumière d'échappement (fig. 176) ; de même  $B_1$  ne doit pas atteindre  $I'_1$ .

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 est souvent employée dans les locomotives du chemin de fer de Lyon.

On remarquera que les lettres  $I$  et  $I_1$ , comme elles sont placées sur les figures 174 à 176, ne désignent pas les mêmes arêtes que sur la figure 94.

**109. Frottement des tiroirs.** — Le tiroir supporte la pression de la vapeur, qui l'appuie sur la table des lumières ; la pression qui s'exerce par-dessous, et qui tend à le soulever, est beaucoup moindre, car cette pression est à peu près celle de l'atmosphère dans toute la cavité intérieure, qui communique sans cesse avec le dehors par le conduit d'échappement.

Il est nécessaire qu'une certaine force colle ainsi le tiroir sur la table, pour éviter les fuites de vapeur par l'échappement ; mais cette force est beaucoup plus grande qu'il ne serait utile : il en résulte un

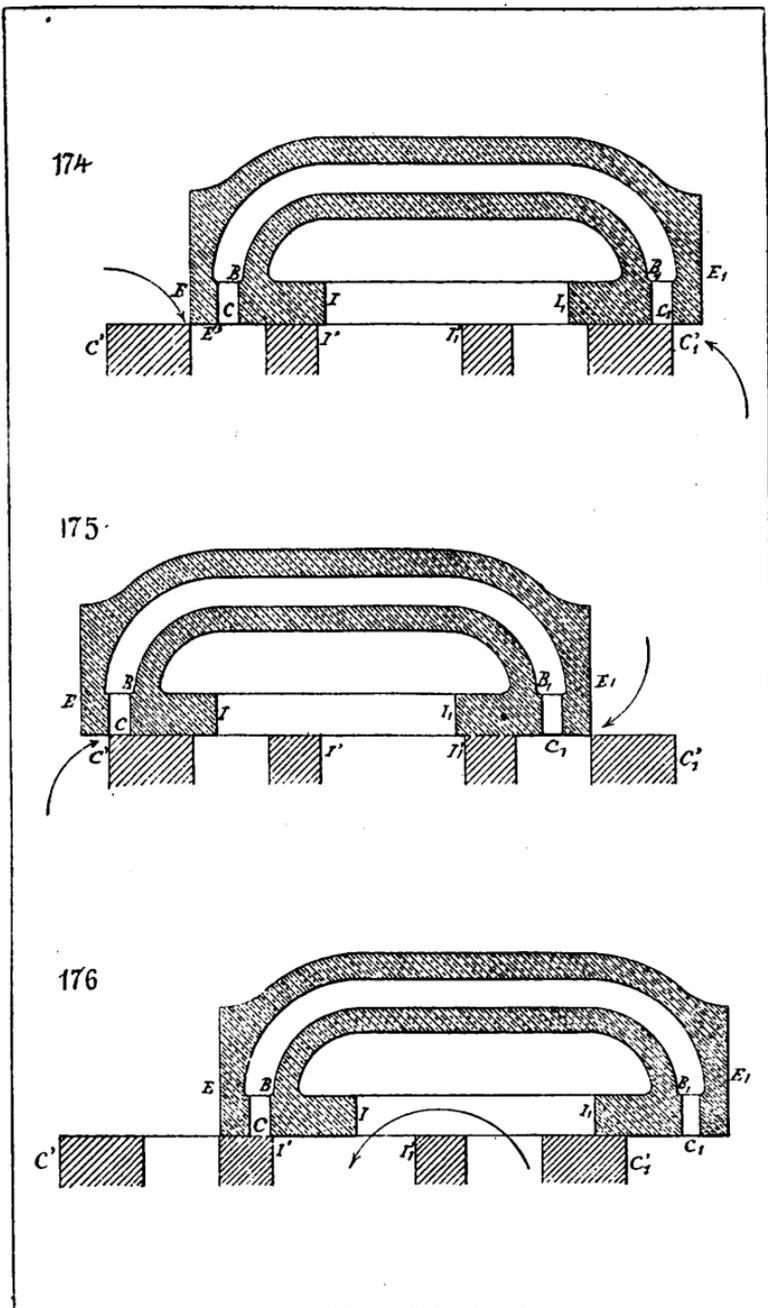


Fig. 174. 175. 176. — Tiroir à canal.

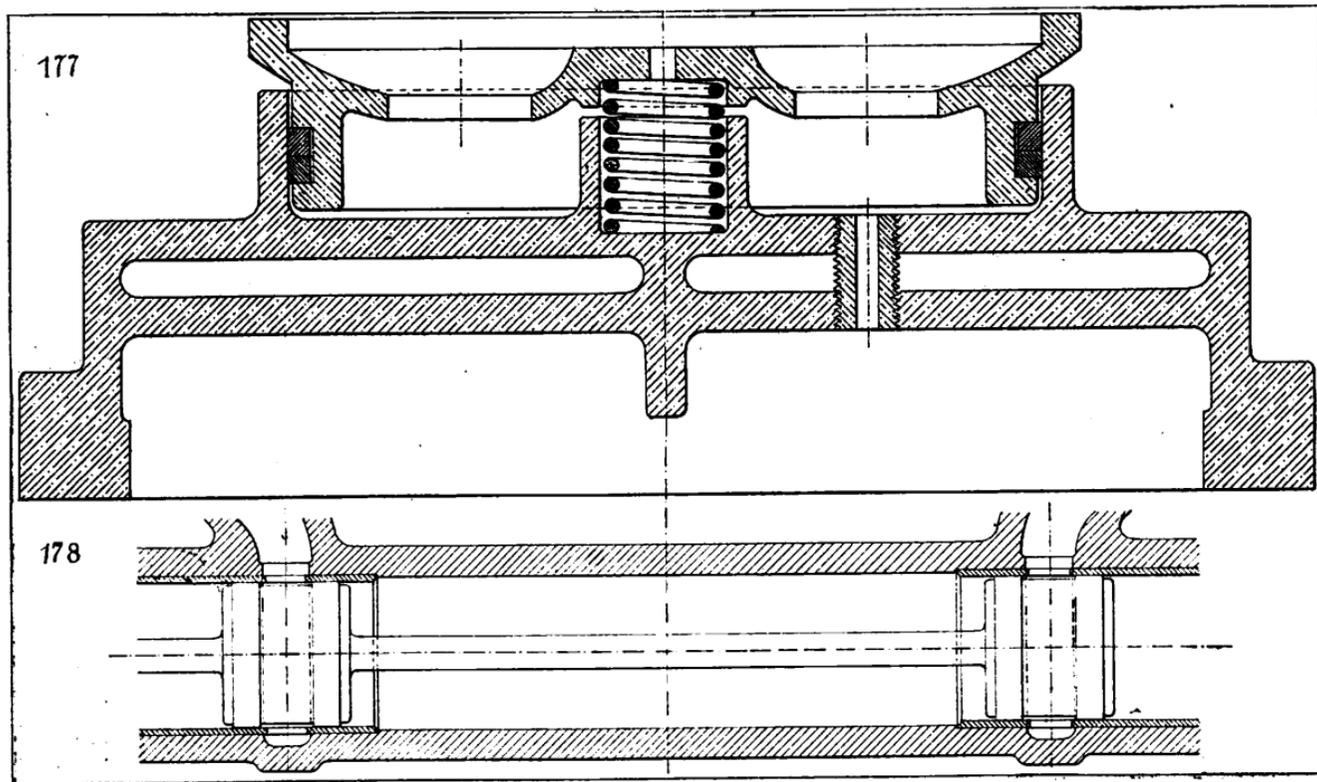


Fig. 177. Tiroir équilibré Adams, à canal. — Fig. 178. Tiroir cylindrique.

*frottement* considérable, qui absorbe du travail et use les surfaces frottantes.

La pression qui appuie ainsi contre sa table un tiroir de 350 millimètres sur 250 est d'environ 7 500 kilogrammes; 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 kilogrammes. La course du tiroir varie suivant le cran de marche : supposons-la de 100 millimètres. Par tour de roue, le tiroir fait une excursion aller et retour, longue de 200 millimètres ou 0<sup>m</sup>,2. Le *travail* ainsi consommé (voir la définition au § 4) 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. Enfin, si les roues font trois tours par seconde, le frottement des deux tiroirs absorbe 420 kilogrammètres par seconde, c'est-à-dire 5 à 6 chevaux-vapeur.

Ce travail n'est pas seulement perdu, mais il détériore la machine, en usant le tiroir et sa table.

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 est utile pour réduire ces effets pernicieux. Les meilleurs appareils sont ceux qui 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. Nous les avons cités au § 88.

On peut aussi s'attaquer à la cause même du frottement et réduire la charge sur la table en *équilibrant* le tiroir. Dans le tiroir *Adams* (fig. 177), on isole sur le dessus du tiroir une portion, qu'on soustrait 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 pratiquée sur le dos du tiroir, et des segments 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 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 trop 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 est important que le graissage de la partie qui frotte sur le plateau soit assuré. On remarquera que le tiroir de la figure 177 est, en outre, muni d'un canal.

On équilibre complètement les pressions en faisant usage de *tiroirs cylindriques*, c'est-à-dire en remplaçant les tiroirs par un jeu de deux pistons conjugués, se déplaçant devant des lumières pratiquées sur la paroi d'un cylindre (fig. 178). Les tiroirs cylindriques, fort employés

dans les grandes machines marines, se trouvent quelquefois sur les locomotives, mais rarement, car ils sont moins simples à construire que les tiroirs ordinaires.

**110. 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, soit suffisante pour surmonter les résistances qui s'opposent au mouvement. Examinons d'abord un seul des cylindres : la machine peut être arrêtée dans une position où le tiroir ouvre une des lumières ; au contraire, les deux lumières d'admission peuvent être masquées. En se reportant à l'étude de la distribution, on voit que si  $OM_6$  (fig. 179) 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'entrera pas dans le cylindre si la manivelle est arrêtée entre  $OM_2$  et  $OM'_6$  ou entre  $OM'_2$  et  $OM_6$  ; si 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 de son 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, en kilogrammes par centimètre carré, soit 10, par la surface du piston, en centimètres carrés ; s'il a 45 centimètres de diamètre, cette surface couvre 1 140  $\text{cm}^2$ , et la force est de 11 400 kilogrammes. On peut en déduire la force correspondante  $MF$  à l'extrémité de la manivelle. Nous indiquerons seulement la règle : 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 (11 400 kg dans notre exemple) par le quotient ainsi obtenu.

Quand la manivelle est voisine de son 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, comme on le voit en suivant sur la figure la variation de  $OG$  ; puis elle diminue. Quand la manivelle se trouve au delà de  $OM_2$ , la vapeur n'entre plus dans le cylindre, la force qui pousse la machine n'existe pas.

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.

Si  $r$  est 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  $R$ .

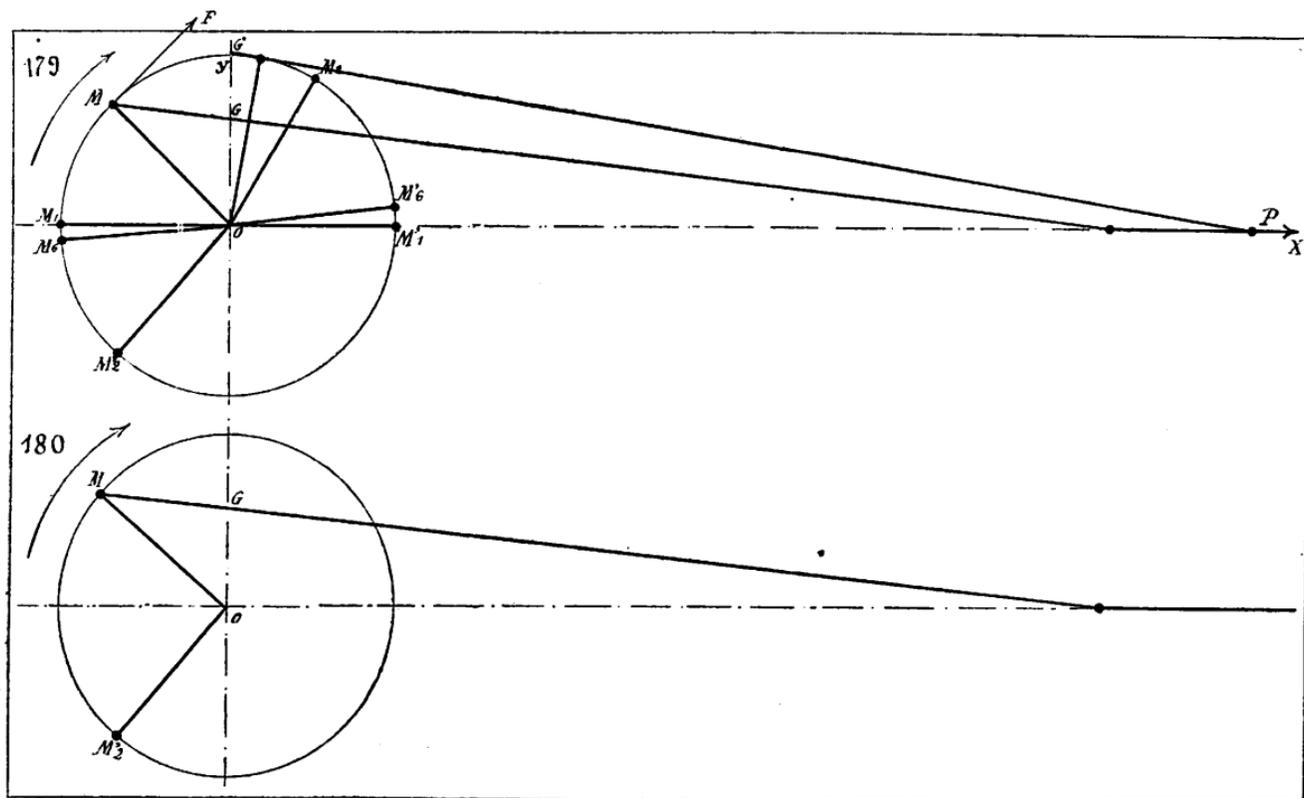


Fig. 179. Étude du démarrage. — Fig. 180. Position la plus défavorable des manivelles.

Cette étude nous montre 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.

La locomotive a un second cylindre, attaquant une manivelle perpendiculaire à la première : 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.

En examinant la figure, on voit que l'effort total est le moindre lorsque l'une des manivelles a légèrement dépassé la position où le tiroir interrompt l'admission, telle que  $OM_2$ , parce qu'alors un seul cylindre est moteur et que sa manivelle n'est pas encore fort éloignée de son point mort. On reconnaît en outre, en examinant la longueur de  $OG$ , que des deux positions  $OM_2$  et  $OM'_2$ , la plus défavorable est celle où les manivelles sont en  $OM'_2$  et  $OM$  (fig. 180).

C'est alors que les machines, si elles ont une charge un peu forte à mettre en mouvement, ne démarrent pas. On change alors le sens de la marche : le cylindre qui commande la manivelle  $OM'_2$  (fig. 180) recevra alors de la vapeur pour la marche arrière, et il est possible que le cylindre de la manivelle  $OM$  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 *poussée*, qui n'agit pas simultanément sur tout le train, exigera une force moindre.

Pour que le démarrage soit rarement difficile, il faut que les zones telles que  $OM_2 - OM'_6$  et  $OM'_2 - OM_6$  (fig. 179) 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.

**111. Marche à régulateur fermé.** — Tous les mécaniciens savent que, lorsqu'on ferme le régulateur, on doit mettre le changement de marche à fond de course : la machine roule plus librement et les tiroirs et cylindres se conservent mieux. Quelle en est la raison ? 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. Reprenons l'examen du mouvement du tiroir conduit par un excentrique, dont le centre est en  $T$  (fig. 181) : soient  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$  les positions de  $T$  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 l'arrière du cylindre communique avec la boîte à vapeur et le piston aspire les gaz que contient cette boîte close, où la vapeur n'arrive plus, le régulateur étant fermé. Nous verrons d'où viennent ces gaz.

Pendant le parcours 2 — 3 du piston, l'arrière du cylindre ne communique ni avec la boîte à vapeur ni avec l'échappement; les gaz qu'il renferme se raréfient donc, par suite de l'accroissement du volume qu'ils occupent. Quand le piston arrive en 3, la communication avec l'échappement s'ouvre. L'échappement communique toujours avec l'extérieur et reçoit la pression atmosphérique : comme la pression dans le cylindre est alors inférieure à celle de l'atmosphère, il se fait par l'échappement une rentrée dans le cylindre, non pas d'air pur, mais de fumée et de gaz chauds venus du foyer.

Pendant le retour du piston de 4 à 5, il refoulera par l'échappement l'air et les gaz qu'il contient; puis, pendant le trajet 5 — 6, il comprimera les gaz qui y restent, et, enfin, ces gaz comprimés s'échapperont dans la boîte à vapeur, dès que la lumière s'ouvrira, en 6. Quand on comprime des gaz, ils s'échauffent : ici nous avons des gaz qui sont déjà chauds, puisqu'ils sont pris dans la boîte à fumée, et dont la compression élèvera encore la température : ces gaz très chauds brûleront les matières de graissage et risqueront 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, exerceront une résistance, qui ralentira ou arrêtera même la machine.

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

Ils sont d'autant moins énergiques que les périodes de détente et de compression sont plus courtes, ce qui a lieu quand le changement de marche est à fond de course : l'aspiration de gaz chauds dans la boîte à fumée, fâcheuse pour la conservation des cylindres, et les résistances à la marche de la machine, venant de la raréfaction de l'air, puis de sa compression, sont alors aussi réduites que possible.

Ajoutons que la forte compression de l'air dans le cylindre ou sa raréfaction dans la boîte à vapeur peut soulever le tiroir, soumis à des pressions par moments plus fortes en dessous qu'en dessus. Ce soulèvement du tiroir est une cause de chocs et d'usure.

C'est surtout pendant la marche prolongée à régulateur fermé, sur les longues pentes, qu'il est utile de graisser les tiroirs et les pistons. On réduit l'usure de ces organes en ouvrant alors légèrement le robinet d'injection d'eau et de vapeur dans l'échappement, disposé pour la marche à contre-vapeur (§ 162); les gaz de la boîte à fumée n'entrent plus dans le cylindre.

On munit quelquefois la boîte à vapeur d'une *soupape de rentrée d'air* qui s'ouvre du dehors au dedans lorsque le piston aspire, pendant la période d'*admission* : cette soupape restreint la raréfaction de l'air et la résistance qui en résulte; l'air ainsi aspiré est refoulé par la

tuyère d'échappement pendant le retour du piston ; le cylindre est préservé du contact de l'air chaud de la boîte à fumée.

**112. Robinets purgeurs.** — Les robinets *purgeurs*, installés aux deux bouts du cylindre, permettent de faire écouler l'eau qui peut s'y produire par condensation de la vapeur lors du démarrage, quand le métal est froid, ou s'y accumuler accidentellement pendant la marche.

Les purgeurs doivent être ouverts pendant les stationnements, parce qu'ils permettent le dégagement de la vapeur qui peut fuir à travers un régulateur non étanche : grâce à cette précaution, on ne trouve pas, au départ, les cylindres pleins d'eau, et c'est une garantie contre la mise en mouvement intempestive de la machine.

Pendant la marche, il ne faut pas laisser les purgeurs trop longtemps ouverts, parce qu'ils perdent beaucoup de vapeur. Dans les stations, leur usage est fort gênant pour les voyageurs sur les quais des gares et pour les agents le long des voies ; on ne doit pas s'en servir aux endroits où ils risquent d'incommoder quelqu'un, ou d'effrayer des animaux.

**113. Vérification des tiroirs et des pistons.** — Les purgeurs permettent de vérifier aisément si les tiroirs ou les pistons ne laissent pas fuir la vapeur : un mécanicien soigneux fait fréquemment cette vérification.

Le principe de l'opération est bien simple : si une machine, arrêtée, est dans une position telle que le tiroir recouvre les lumières de son cylindre, il ne doit pas entrer de vapeur dans ce cylindre quand on ouvre le régulateur. Une fois le tiroir reconnu étanche, si on lui fait découvrir une de ses lumières, la vapeur entrera dans le cylindre d'un côté du piston ; mais elle ne passera pas de l'autre côté du piston s'il est étanche.

Une foule de positions des machines permettent ces vérifications ; mais la méthode la plus élégante est celle qui consiste à faire l'ensemble des essais sans changer la machine de place. Il suffit de l'arrêter dans une position telle que les deux manivelles motrices soient toutes les deux inclinées à 45° de part et d'autre de l'axe des cylindres et dirigées vers l'avant : l'une des manivelles est au-dessus de cet axe, l'autre est au-dessous, et les deux têtes de piston sont juste en regard l'une de l'autre, au même point de leur course. Dans les machines à mouvement intérieur, on voit sans peine quand cette position est atteinte ; avec les cylindres extérieurs, le mieux serait de déterminer la position précise des têtes de piston à l'aide d'un repère sur la glissière.

Plaçons alors le changement de marche au point mort : vu la faible longueur des périodes d'admission dans cette position du changement de marche, la manivelle motrice à 45° a déjà dépassé les

positions où l'admission cesse, et les deux tiroirs recouvrent les lumières des cylindres.

Les purgeurs étant ouverts, manœuvrons doucement le régulateur, après avoir serré les freins pour éviter la mise en marche, que la prudence commande de toujours prévoir malgré cette précaution. Si les tiroirs sont étanches, aucun des quatre purgeurs ne donne issue à la vapeur ; un dégagement de vapeur par un des purgeurs ou par les deux purgeurs d'un cylindre indique le mauvais état du tiroir ou de la table.

Si les tiroirs sont bons, pour vérifier les pistons, on place le changement de marche au fond de course avant : si c'est la manivelle de droite qui est au-dessous de l'axe du cylindre, le tiroir de droite découvre alors la lumière avant de son cylindre ; en ouvrant le régulateur, la vapeur ne doit sortir que par le purgeur avant de ce cylindre. Si elle s'échappe aussi par le purgeur arrière, c'est que les segments la laissent passer.

Enfin, pour vérifier le piston de gauche, dont la manivelle est au-dessus de l'axe, on place le changement de marche au fond de course arrière : la vapeur ne doit sortir que par le purgeur avant de ce cylindre.

Si c'est au contraire la manivelle de gauche qui est au-dessous de l'axe du cylindre, c'est le piston de gauche qu'on vérifie avec le changement de marche à fond de course avant, et le piston de droite avec le changement de marche à fond de course arrière.

Si on voulait faire entrer la vapeur à l'arrière des pistons, il faudrait arrêter la machine avec les deux manivelles motrices encore inclinées à  $45^\circ$  de part et d'autre de l'axe des cylindres, mais dirigées vers l'arrière, puis opérer de même. Toutefois, dans cette position, avec certaines machines ayant une période d'admission relativement longue dans la marche au point mort de la coulisse, il peut arriver que les lumières d'admission ne soient pas entièrement recouvertes pour l'essai des tiroirs : par suite de l'obliquité de la bielle, le piston est alors plus près de son fond de course que lorsque la manivelle est à  $45^\circ$  vers l'avant : dans l'étude de la distribution, on a tenu compte de cette circonstance. Mieux vaut donc incliner les manivelles vers l'avant.

**114. Contrepoids des roues de locomotives.** — Pour qu'un train de roues porteuses de locomotive, ou bien de roues de tender ou de wagon, roule aussi doucement que possible, il faut que, monté sur les pointes d'un tour, il soit parfaitement *équilibré*, c'est-à-dire qu'il puisse rester arrêté dans une position quelconque, sans qu'aucune partie lourde ramène toujours à la même place un même côté des roues. Cherchons d'abord à nous rendre compte de l'action fâcheuse d'une roue non équilibrée : prenons une roue parfaitement régulière et rapportons un poids près de la jante. Supposons ce poids libre de

coulisser suivant un rayon (fig. 182), mais rattaché à un ressort à boudin fixé près du centre de la roue (ainsi que cela se voit dans 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*. Les formules de la mécanique permettent de calculer aisément la force qui tend le ressort : soit P, en kilogrammes, le poids ainsi fixé à la roue, R, en mètres, la distance du *centre de gravité* (voir § 18) de ce poids au centre de la roue, ou le rayon du cercle décrit par ce centre de gravité, *v* la *vitesse angulaire* de la roue, c'est-à-dire le nombre de mètres parcourus pendant une seconde, en tournant en rond, par un point situé à un mètre du centre. On peut calculer ce qu'on appelle *masse* d'un corps en divisant son poids, en kilogrammes, par un nombre qu'on prend égal à 10 pour une approximation, et qui est plus exactement de 9,81. Le *carré* d'un nombre est le produit de la multiplication de ce nombre par lui-même. Pour calculer, en kilogrammes, la force qui tend le ressort par suite du mouvement de rotation, et qu'on nomme *force centrifuge*, on multiplie d'abord la *masse* du corps, fixé à notre roue, par le rayon de son centre de gravité; puis on multiplie le produit ainsi obtenu par le carré de la vitesse angulaire; algébriquement c'est  $\frac{P}{9,81} \times R \times v^2$ . Par exemple, si l'on fixe 50 kilogrammes sur la roue, à une distance de 0<sup>m</sup>,750 du centre, et si elle a une vitesse angulaire de 20 mètres (ce qui fait un peu plus de 3 tours par seconde), la masse étant à peu près 50 divisé par 10, ou 5, le carré de 20 étant 400, la force cherchée sera  $5 \times 0,75 \times 400$ , c'est-à-dire 1 500 kilogrammes. Le ressort ainsi tendu est attaché près du centre de la roue, et il tire avec une force égale son point d'attache. *S'il n'y a pas de ressort*, et si 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 que nous y avons fixée.

Considérons une roue d'un véhicule de chemin de fer qui porte ainsi cette masse et qui roule avec une vitesse uniforme : quand la masse est vers le bas de la roue (fig. 183), cette force de 1 500 kilogrammes (ou autre calculée de même), tirant le centre de la roue, fait qu'elle exerce sur le rail une pression de 1 500 kilogrammes en plus du poids normal; quand la masse est en haut (fig. 184), c'est une diminution de 1 500 kilogrammes du poids sur le rail; quand elle est d'un côté ou de l'autre du centre, sur l'horizontale (fig. 185 et 186), c'est une poussée de 1 500 kilogrammes 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.

Comment faire disparaître cet effet fâcheux, lorsqu'on ne peut

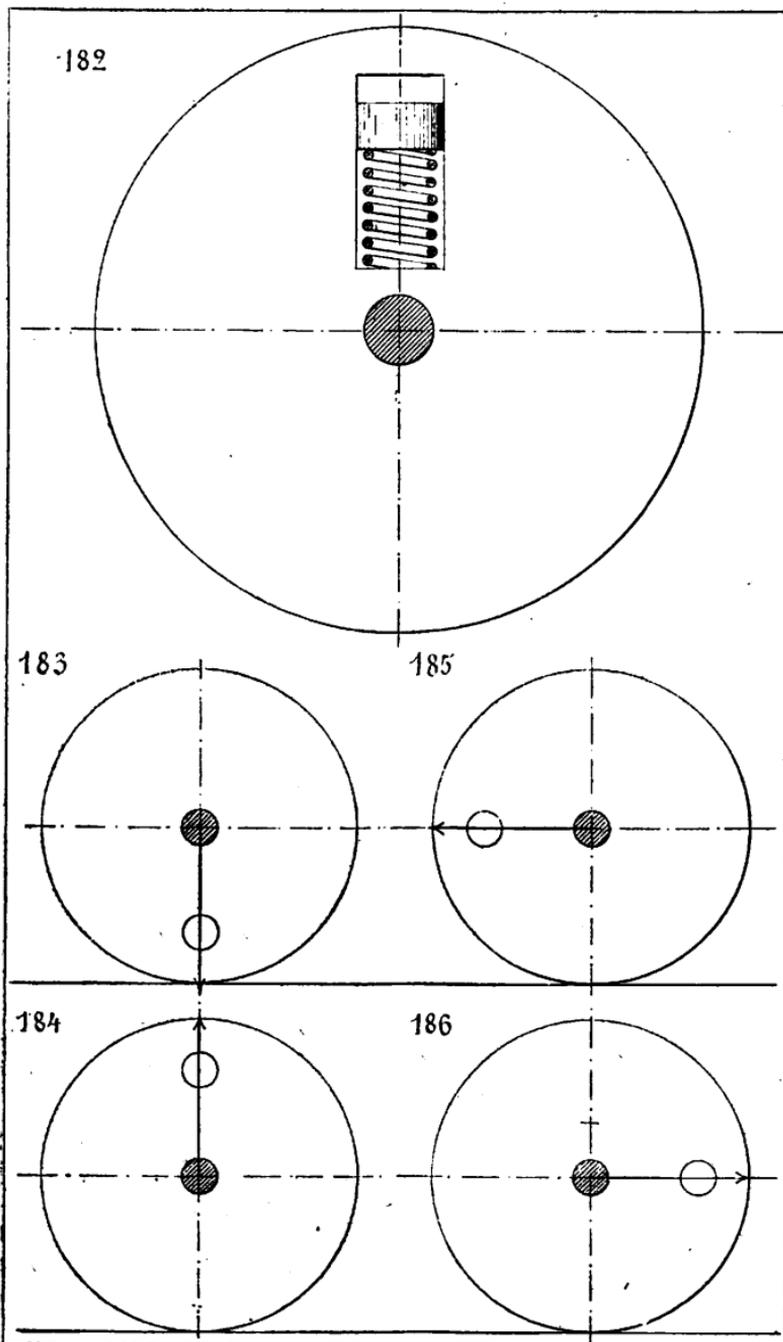


Fig. 182. — Tension d'un ressort par un poids rapporté sur une roue.  
 Fig. 183, 184, 185, 186. — Effet d'un poids excentré sur une roue.

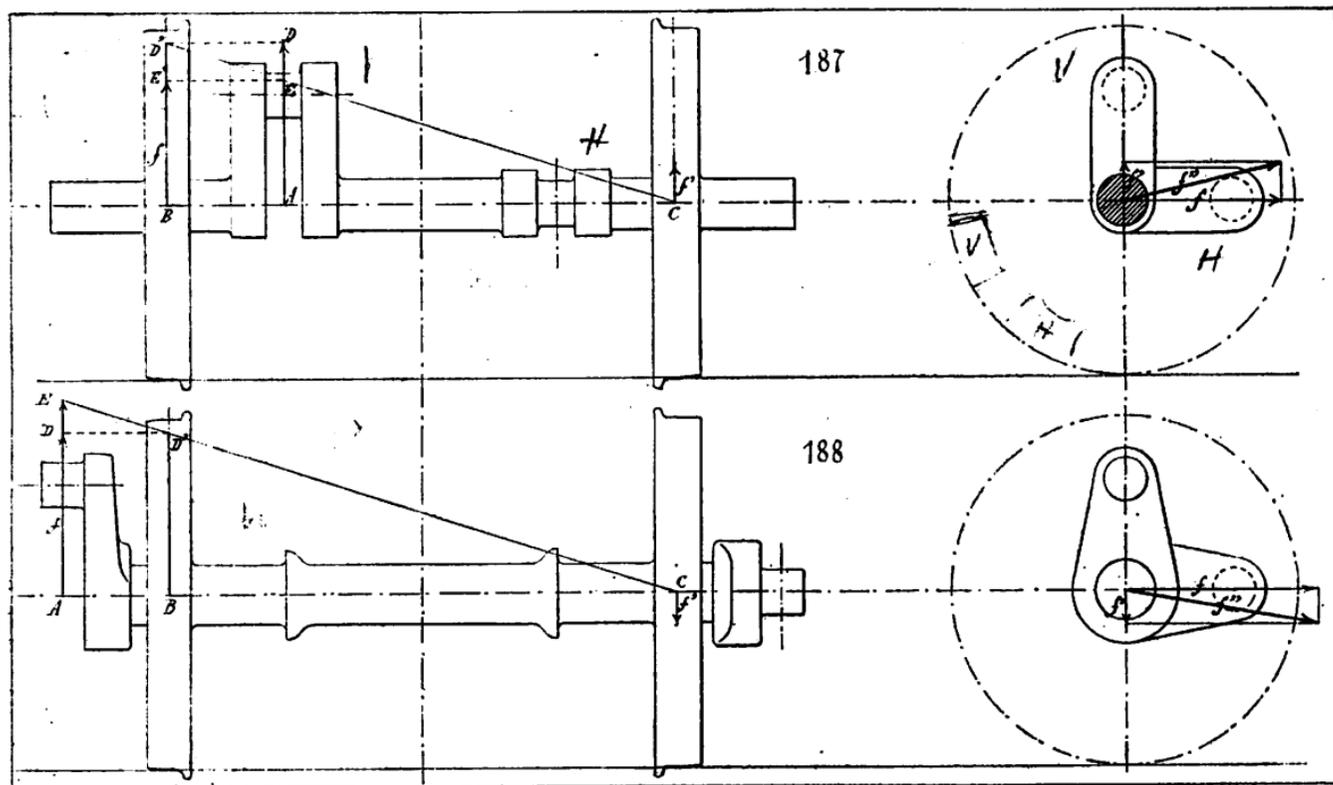


Fig. 187 et 188. — Détermination des contrepoids.

éviter sur un train de roues des masses non équilibrées d'elles-mêmes, telles que les boutons de manivelle des roues de locomotives, avec les têtes de bielle qu'ils portent? En ajoutant une masse égale à la même distance du centre, symétriquement placée, c'est-à-dire à l'autre extrémité du diamètre; il se développe alors une force égale et exactement contraire à la précédente, et les deux se font équilibre. En se reportant à la formule, on voit qu'il n'est pas indispensable que les deux masses opposées soient égales; il suffit que le produit du poids par le rayon de son centre de gravité,  $P \times R$ , soit le même; cela permet de compenser une lourde masse voisine du centre par une masse opposée plus légère, fixée près de la jante.

C'est ainsi que l'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 *contre-poids*. Ce qui complique un peu le calcul de ces contre-poids, c'est que les masses qu'il s'agit d'équilibrer ne sont pas toujours sur chacune des roues mêmes, mais peuvent en être à une certaine distance, notamment les coudes d'essieu: il faut commencer par faire ce qu'on appelle une *décomposition de forces*. Nous avons sur un des coudes (fig. 187) une force  $F$ , en kilogrammes, que nous représentons par une longueur  $AD$ : la mécanique enseigne que 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  $C$ . Nous faisons la même décomposition pour l'autre force  $F$ , provenant du second coude, qui nous donne deux autres composantes  $f''$  et  $f'''$ . Dans chacune des roues on a ainsi deux forces perpendiculaires  $f$  et  $f'$ , qu'on peut enfin supposer remplacées par une force  $f''$ , que la *diagonale du rectangle* ayant  $f$  et  $f'$  pour côtés représente en grandeur et direction. Tout cela est plus simple à exécuter sur les épures qu'à décrire.

La force  $F$ , égale à  $AD$ , est à l'extérieur des roues, quand elles portent des *contre-manivelles* (fig. 188). Dans ce cas, une construction analogue nous 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 aura de même la composante  $f''$  dans chaque roue.

Quand il y a des roues accouplées, on suppose, pour ce calcul, concentrée sur chaque bouton de manivelle la moitié du poids de la bielle d'accouplement qu'il porte.

**115. Equilibre des pièces à mouvement alternatif.** — L'application de contre-poids, tels que nous venons de les calculer, pour équilibrer les pièces tournantes, est simple et naturelle; mais on leur a demandé davantage, et parfois avec peu de succès. Outre les pièces qui tournent, les pistons, avec leur tige et leur tête, ont un mouve-

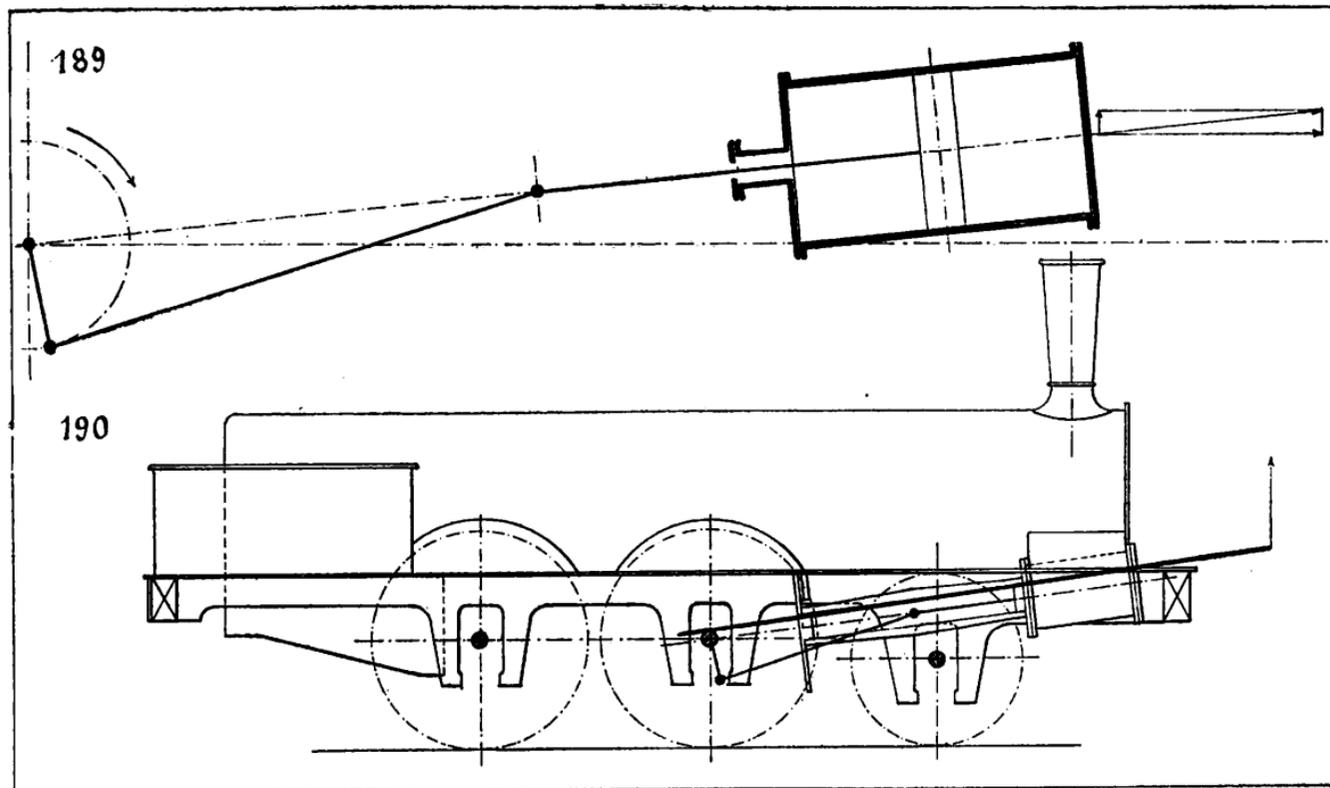


Fig. 189. Effet de l'inclinaison des cylindres. — Fig. 190. Effet de la pression sur les glissières.

ment *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; pour ne pas compliquer inutilement notre étude, nous supposerons, comme on le fait souvent, 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 produire une oscillation de toute la locomotive *en long*, parallèle aux rails : quand cette oscillation se développe, 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 pourrait produire 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 lacet provient de l'inégalité de l'action des deux mécanismes latéraux au même instant.

On diminue les mouvements de recul et de lacet en faisant les pistons avec leurs têtes aussi légers que possible. C'est un défaut fréquent des locomotives américaines d'avoir des têtes de piston et autres pièces à mouvement alternatif plus lourdes qu'il n'est utile. 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 elle est reliée par des attelages serrés à son tender et au train.

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*, peu important en somme, est acheté par un défaut bien 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*, pourvu que les *perturbations verticales*, que l'on crée ainsi, restent minimales.

**116. Perturbations dues à l'inclinaison des cylindres.** — La vapeur presse alternativement l'un et l'autre fond des cylindres. Avec un diamètre de 450 millimètres et une pression de 8 kilogrammes par centimètre carré, l'effort sur chaque fond atteint environ 13 000 kilo-

grammes. 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. La construction simple donnée figure 1-9, à la droite de la coupe du cylindre, permet de déterminer l'effort vertical qui tend ainsi à soulever et à abaisser la machine, au moyen d'une *décomposition de force*. L'inclinaison étant de 1 pour 10, l'effort sera de 1 300 kilogrammes dans l'exemple indiqué ci-dessus. 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.

**117. Perturbations dues à la pression sur les glissières.** — Nous avons vu (§ 91) à quelle force étaient soumises les glissières qui guident la tête du piston ; rappelons qu'il n'y a guère que la glissière supérieure qui travaille, dans la marche avant. Cette force 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. On s'en fera une idée nette en supposant que, sur une locomotive de dimensions réduites, on pose un levier sur l'essieu moteur (fig. 190), puis qu'on cherche à soulever la glissière par une série de petites tractions au bout du levier, chaque traction correspondant à un demi-tour de roue.

**118. Machines compound.** — Dans les machines à un seul cylindre, ou à plusieurs cylindres travaillant de même, la vapeur passe de la chaudière dans le cylindre, puis s'échappe dans l'atmosphère (ou dans un condenseur). La machine compound, au contraire, a deux cylindres parcourus *succe-sivement* par la vapeur : un *cylindre à haute pression* (dit aussi *cylindre admetteur* ou *petit cylindre*) reçoit de la chaudière la vapeur, qui en pousse le piston pendant l'*admission* et pendant la *détente* ; puis, pendant l'*échappement*, au lieu de communiquer avec l'extérieur (ou avec le condenseur), ce cylindre est mis en relation avec un *réservoir intermédiaire*, dans lequel se 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 : certaines machines à un seul cylindre laissent aussi échapper leur vapeur dans un réservoir communiquant avec le dehors et où règne la pression de l'atmosphère (pour réchauffer l'eau d'alimentation) : dans la machine compound, la pression de ce réservoir peut avoir des valeurs différentes, qui sont parfois assez élevées ; c'est comme si notre appareil à cylindre unique fonctionnait dans une chambre pleine d'air comprimé à cette pression.

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 : le *poids de vapeur*, avec l'eau condensée qu'elle peut renfermer, reçu par ces deux machines pendant le même temps, est le même.

Si les deux cylindres, comme d'habitude, attaquent le même arbre, et si la marche est uniforme, si les machines fonctionnent, comme on dit, *en régime permanent*, cette égalité des poids de vapeur reçus par chacun des deux cylindres existe pour chaque tour de l'arbre ; en d'autres termes, 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 en outre 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 y 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 ces deux cylindres, à haute et à basse pression, doivent bien être *petit et grand*. 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 ; nous avons donc un même *poids* de vapeur dont la *pression* s'abaisse légèrement deux fois : si aucune *condensation* ne se produit, son *volume* 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 diminuerait 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 se vaporise de nouveau pendant l'échappement de ce cylindre, ce qui augmenterait le volume de la vapeur.

En somme, les deux effets se compensent à peu près, et l'eau qui se forme dans le grand cylindre pendant l'admission est celle qui s'est retransformée en vapeur dans le petit cylindre pendant l'échappement, de sorte que, *pour la question qui nous occupe en ce moment*, on peut négliger ces condensations et donner les conclusions suivantes : 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; cette détente est d'ordinaire poussée jusque deux ou trois fois le volume admis, ce qui donne au grand cylindre deux ou trois fois le volume du petit.

#### 119. Équivalence des machines compound et à un seul cylindre.

— Une machine compound, à chaque demi-tour, prend un volume de vapeur à la pression de la chaudière, et laisse échapper au dehors un volume de vapeur détendue, qui est à peu près celui du grand cylindre. En comparant ces deux volumes, on voit combien la vapeur s'est détendue. Considérons une machine ayant pour cylindre unique le cylindre à basse pression de la compound; introduisons-y directement le même volume de vapeur prise à la chaudière; au moment de l'échappement, la vapeur se sera détendue 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, réduisent un peu le travail de la machine compound; mais les consommations de vapeur sont le plus souvent moindres dans la compound, à laquelle reste finalement l'avantage, pour les raisons indiquées au paragraphe suivant.

Nous avons dit que le volume du grand cylindre était d'habitude deux à trois fois celui du petit: la proportion exacte se fixe dans chaque cas, par une étude que nous ne pouvons donner ici, et de manière à faire produire autant que possible la moitié du travail total par chacun des cylindres.

120. Avantages des machines compound. — Les machines compound ont plusieurs avantages spéciaux. Il est difficile d'obtenir, dans un cylindre unique, une détente un peu grande de la vapeur (six à huit fois le volume pris dans la chaudière), à moins de faire usage de cer-

tains mécanismes de distribution, moins simples que la commande ordinaire du tiroir, tels que ceux des machines Corliss. Mais, avec le tiroir simple, les grandes detentes ne peuvent s'obtenir qu'en augmentant outre mesure les périodes d'échappement anticipé et de compression, et en *luminant* beaucoup la vapeur pendant l'admission, par suite de la faible ouverture des lumières. Or, pour tirer bon parti des pressions élevées de la vapeur en usage général aujourd'hui, 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 beaucoup de vapeur dans le premier cas, et, dans le second, la compression réduit par trop le travail moteur du piston.

Dans la compound, d'une part, l'espace libre, en relation avec la chaudière lors de l'admission dans le petit cylindre, est plus petit que dans le cylindre d'une machine unique équivalente, qui serait le grand cylindre de la compound; d'autre part, on règle plus facilement la compression dans les deux cylindres de la compound: pour le petit cylindre, la vapeur à comprimer est à la pression du réservoir, souvent assez élevée; et pour le grand, la pression d'admission, qui doit être obtenue par la compression, étant celle du réservoir, est moindre que dans la chaudière.

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 de la vapeur à la pression de 10 kilogrammes par centimètre carré 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 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 kilogrammes par centimètre carré, 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 considérablement 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 en somme due qu'à la différence de la pression dans la chaudière et dans le réservoir; sur le tiroir du grand cylindre on a seulement celle du réservoir. Les tiroirs se trouvent ainsi tout

naturellement en partie *équilibrés*, sans qu'on ait besoin de recourir à aucune disposition spéciale, toujours un peu compliquée.

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 forcément 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.

**121. 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 exposé en 1878 une machine de ce genre. Depuis cette époque, un grand nombre de locomotives compound ont été construites, surtout en Angleterre, en Allemagne et aux États-Unis. Cette application du système compound est d'autant mieux justifiée que la pression dans la chaudière est plus élevée.

Certaines machines fixes n'ont qu'un seul cylindre ; on peut trouver que la détente successive dans deux cylindres les complique : il n'en est plus de même dans la locomotive, qui a nécessairement deux cylindres au moins : la locomotive compound peut n'avoir également que deux cylindres et les seuls inconvénients de construction qu'elle présente alors sont la substitution à l'un des cylindres d'une pièce de plus grande dimension, et l'emploi d'un mécanisme spécial de démarrage ; le cylindre à haute pression conserve à peu près les dimensions du cylindre d'une locomotive ordinaire. Ces inconvénients sont minimes : ces dispositions spéciales pour le démarrage peuvent être fort simples.

Ces dispositions sont nécessaires dans la locomotive compound à deux cylindres ; car si la machine est arrêtée dans une position telle que le tiroir du petit cylindre ne découvre aucune des deux lumières d'admission, elle ne pourrait pas se mettre en marche. Pour remédier à cette difficulté, on admet dans le réservoir intermédiaire de la vapeur prise à la chaudière : cette admission de vapeur se fait par un robinet ou une soupape à faible section, et le réservoir est muni d'une soupape de sûreté, afin que la pression ne puisse pas s'y élever au-dessus de celle que le grand cylindre et le réservoir même peuvent supporter sans inconvénient. Le grand piston reçoit alors l'action motrice, quand le tiroir du petit cylindre n'y laisse pas entrer la vapeur.

Mais cette admission directe de vapeur au grand cylindre ne suffit pas toujours pour la locomotive, qui doit pouvoir exercer un grand effort de traction à la mise en marche : comme le réservoir communique avec l'échappement du petit cylindre, la vapeur qu'on y admet reflue par cet échappement jusqu'au petit piston et tend à le pousser *en sens contraire* du mouvement qu'on veut produire. Cet effet réduit l'effort de démarrage de la machine; il peut en résulter une gêne sérieuse et une mise en marche souvent pénible.

Plusieurs dispositions suppriment cet inconvénient : c'est d'abord l'interposition d'un simple clapet entre le conduit d'échappement du petit cylindre et le réservoir, clapet qui empêche 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. D'autres fois, et c'est la disposition adoptée par M. Mallet, on ne se contente pas de séparer le réservoir et le petit cylindre, mais en outre on ouvre une issue spéciale pour l'échappement direct au dehors de ce cylindre : la machine est alors transformée momentanément en une machine à deux cylindres séparés, avec cette particularité que la pression de la vapeur est réduite pour le plus grand des deux cylindres.

Ajoutons qu'on a réussi à construire des locomotives compound à deux cylindres sans aucun organe mobile spécial pour le démarrage ; il suffit d'une distribution pouvant donner de très longues admissions, et de quelques communications de petite dimension démasquées par les tiroirs.

Certaines locomotives compound, au lieu de deux cylindres seulement, en ont trois ou quatre : on peut remplacer un des deux cylindres par deux cylindres ayant chacun un volume moitié moindre ; on peut aussi diviser en deux chacun des deux cylindres : on a ainsi deux cylindres à haute pression et deux cylindres à basse pression ; le principe de la machine reste toujours le même. On fait ordinairement commander par chaque groupe un essieu séparé ou un groupe distinct d'essieux accouplés. Cette disposition complique quelque peu la machine, il est vrai ; elle a, d'autre part, l'avantage de se prêter à des groupements commodes des organes et surtout de ne soumettre chacun des mécanismes qu'à des efforts réduits, ce qui diminue l'usure des pièces. Les machines à plusieurs cylindres peuvent se passer d'appareils spéciaux de démarrage, ou du moins un simple robinet d'admission directe au réservoir suffit généralement.

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 d'habitude 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.

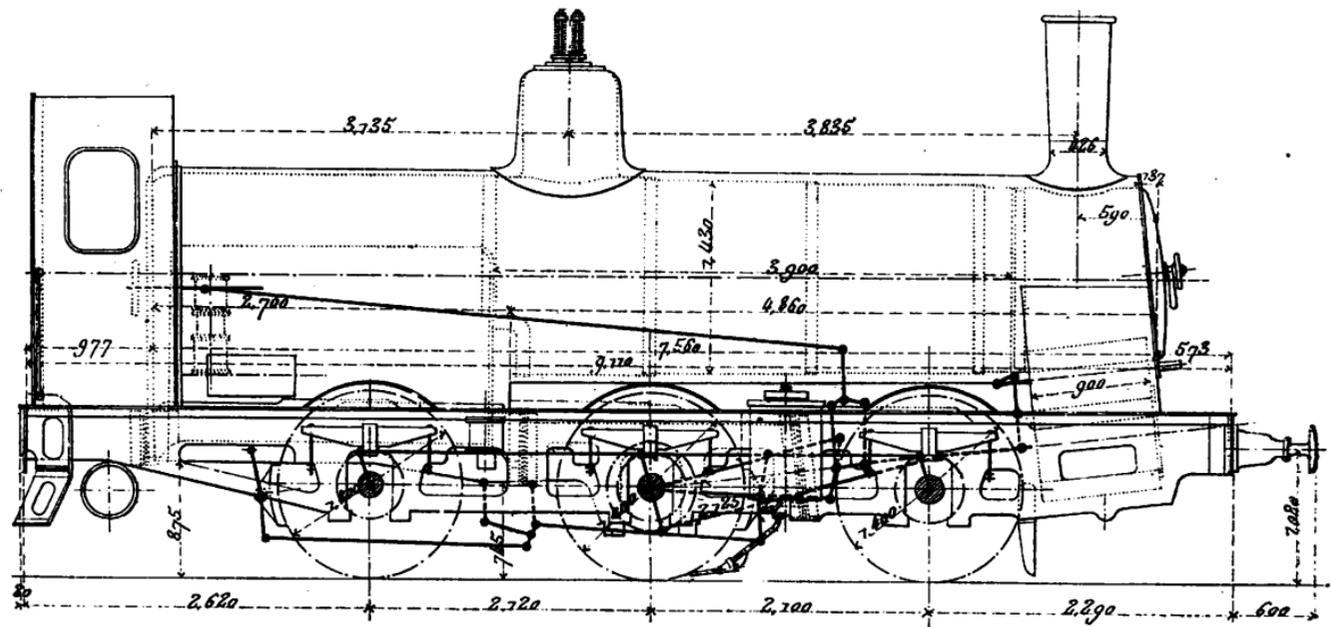


Fig. 191. — Locomotive compound à deux cylindres de la compagnie de l'Est.

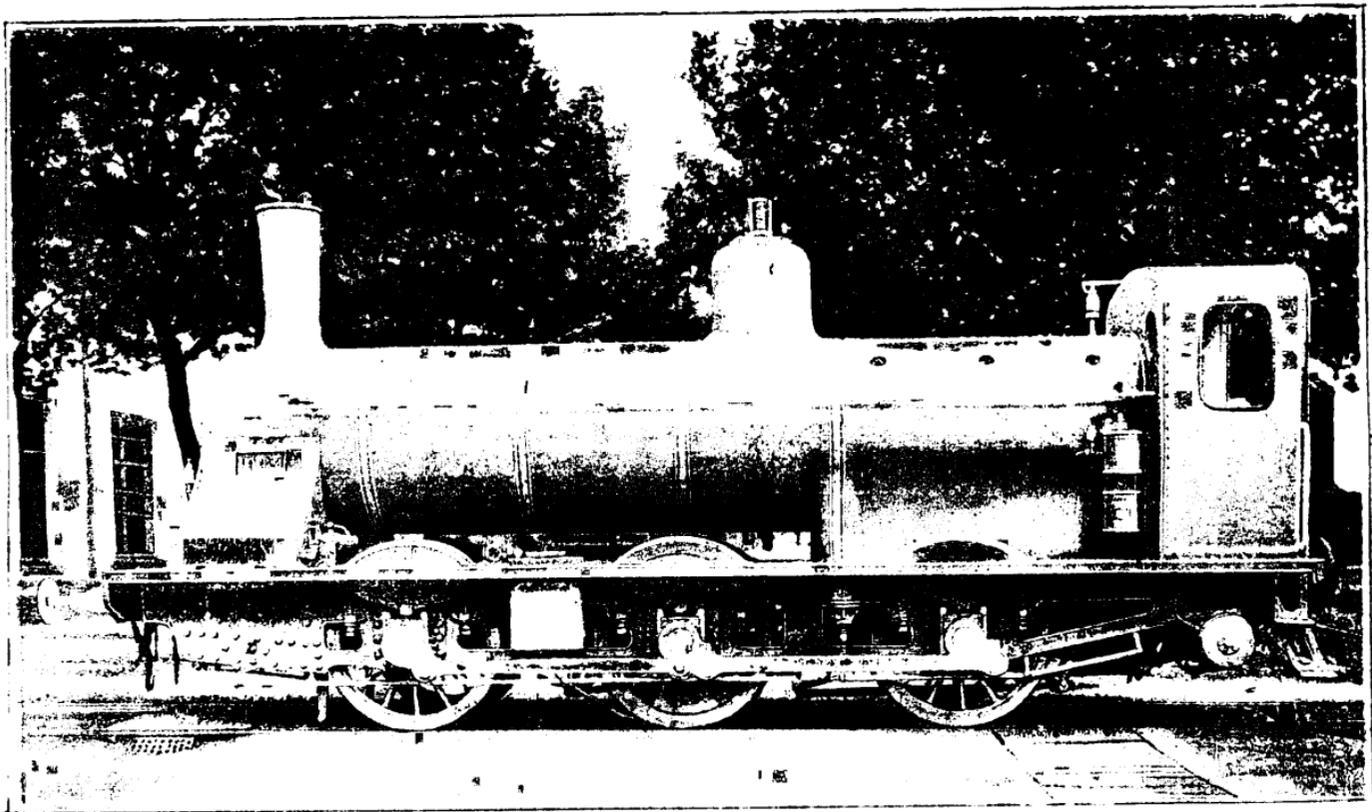


Fig. 192. — Locomotive compound à deux cylindres de la compagnie de l'Est.

**122. Locomotives compound à trois essieux couplés de la compagnie de l'Est.** — Comme exemple de locomotives compound, nous dirons quelques mots de celles qui ont été construites en 1893 par la compagnie de l'Est. Ces locomotives (fig. 191, 192, 193) sont portées par trois essieux couplés, avec roues de 1<sup>m</sup>,400, donnant chacune un

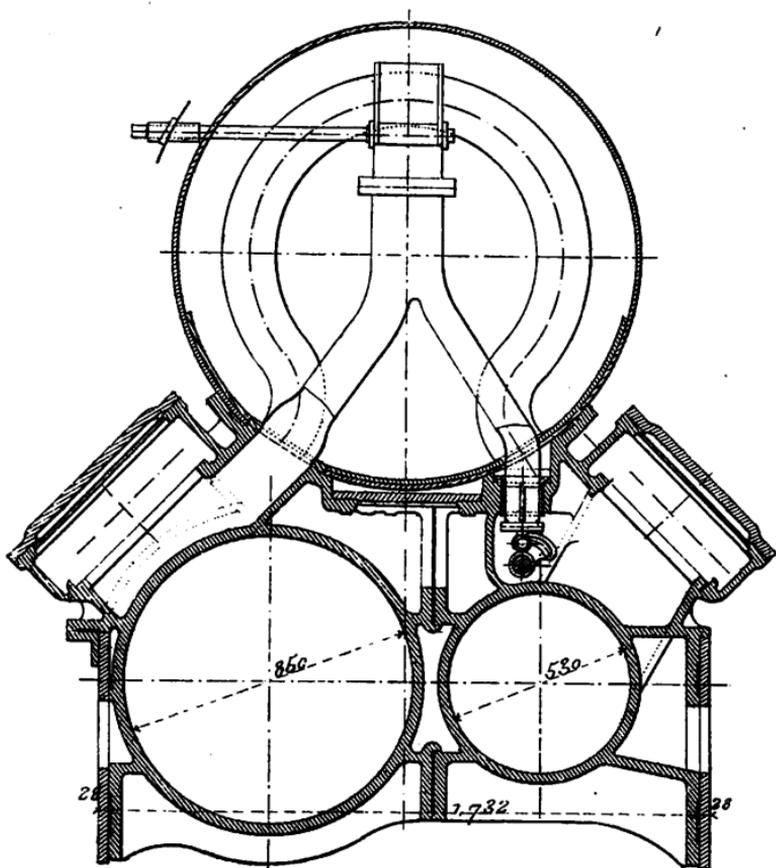


Fig. 193. — Locomotive compound à deux cylindres de la compagnie de l'Est : coupe transversale.

pois sur le rail de 7500 kg environ. Elles sont étudiées pour exercer un effort de traction comparable à celui des locomotives à quatre essieux couplés de la même compagnie, mais avec plus de facilité pour marcher à moyenne vitesse, vu le plus grand diamètre de leurs roues. Les chaudières sont timbrées à 13 kg.

En plaçant les cylindres à l'intérieur de longerons extérieurs, on a

toute la place désirable pour donner au grand cylindre un diamètre suffisant. Les cylindres sont alors nécessairement en avant des roues du premier essieu accouplé, comme lorsqu'ils sont extérieurs. Le troisième essieu passe sous le foyer, qui est très long.

Les cylindres ont des diamètres intérieurs de 530 et 850 mm ; la course des pistons est de 650 mm. Les boîtes à tiroir sont placées latéralement. L'échappement du petit cylindre se fait dans une capacité qui renferme le mécanisme spécial de démarrage, et de là, lors de la marche normale (en compound), dans le réservoir ; ce réservoir est formé de deux chambres ménagées à la partie supérieure des cylindres et d'un tuyau qui fait le tour de la boîte à fumée, en libre communication avec la boîte à vapeur du grand cylindre. Une soupape de sûreté, montée sur l'arrière du grand cylindre, limite la pression, dans le réservoir, à 5 kilogrammes par centimètre carré.

L'échappement se fait normalement par le grand cylindre seul. Un échappement dérivé vient du petit cylindre et ne doit fonctionner que pour les démarrages. Une rondelle montée sur le joint de ce tuyau d'échappement auxiliaire peut être remplacée par une plaque non percée, de manière à le paralyser, car il n'est pas indispensable.

Les deux cylindres sont fortement boulonnés ensemble et aux longerons. Une équerre rivée aux longerons reçoit la rangée supérieure des boulons de fixation du grand cylindre. L'appareil spécial de démarrage est installé dans une cavité à la partie supérieure du cylindre à haute pression : il est accessible, avec quelque peine, il est vrai, par des ouvertures ménagées sur les faces avant et arrière de ce cylindre.

Cet appareil comprend trois organes distincts : une soupape d'admission directe de vapeur dans le réservoir, un clapet d'isolement du petit cylindre et du réservoir, une soupape ouvrant une issue extérieure à l'échappement du petit cylindre.

La soupape d'admission directe prend la vapeur dans la boîte à vapeur du cylindre à haute pression, et non dans la chaudière : cette dernière disposition introduirait une cause de danger, l'admission directe pouvant rester ouverte en stationnement sans qu'on le remarque et donner lieu à un départ intempestif de la machine. La section de la soupape est faible, parce que la vapeur, dans le réservoir, ne doit avoir qu'une pression réduite. La section choisie paraît convenable, car les démarrages sont faciles, ce qui montre que l'orifice de passage est assez grand, et la soupape de sûreté du réservoir ne se lève pas trop fréquemment, ce qui aurait lieu si l'admission directe était trop forte.

L'échappement direct du cylindre à haute pression a une section relativement petite, car il ne doit être ouvert que pour quelques coups de piston au plus, donnés à très faible vitesse.

Pour le démarrage, l'admission directe de vapeur au réservoir est ouverte, ainsi que l'échappement direct du petit cylindre, et le clapet de séparation est ferme. Pour passer à la marche en compound, le mécanisme unique de commande commence par fermer la soupape

d'admission directe, puis la soupape d'échappement direct, et enfin il ouvre le clapet de séparation ; cette succession a été prévue pour éviter une perte de vapeur par l'échappement pendant la manœuvre, ce qui viderait le réservoir. Une fois la machine en route, on se met le plus tôt possible à la marche en compound.

L'ordre de succession pendant la manœuvre inverse n'a pas d'importance, parce qu'elle ne doit se faire que lorsque le régulateur est fermé.

D'après les descriptions qui précèdent, on se rend compte aisément de la manière de conduire la machine.

Sauf pendant les stationnements, où, par mesure de sécurité, il doit être au point mort, le changement de marche donne toujours une admission de 45 à 50 p. 100 au moins. Pour les très grands efforts en marche lente, on peut avoir une admission plus forte ; pour la marche rapide, il convient aussi d'allonger un peu l'admission, afin d'accroître les chutes de pression du petit cylindre au réservoir et du réservoir au grand cylindre, ce qui est utile quand la vitesse augmente. La pratique indique jusqu'à quel point peut être poussé cet allongement d'admission, dans chaque cas : il y a là quelques tâtonnements à faire.

Quand le travail donné par l'admission de 45 à 50 p. 100 est trop fort, on le réduit en fermant partiellement le régulateur. Il convient de *laminer* de même avec le régulateur la vapeur à la sortie de la chaudière, si, en marche rapide, avec le changement de marche placé entre les crans 5 et 6, la puissance est trop grande.

En un mot, en marche normale, c'est surtout avec le régulateur qu'on fait varier la puissance de la machine.

**122 bis. Locomotives compound à quatre cylindres de la compagnie de Lyon.** — Comme type de locomotives compound à quatre cylindres, nous décrirons les numéros 3211-3300 de la compagnie de Lyon, qui ont quatre essieux couplés (fig. 193 *bis*, 193 *ter*, 193 *quater*). La puissance et le grand diamètre des roues de ces machines (1<sup>m</sup>, 500) les rend également propres à la traction des trains directs de marchandises sur les profils faciles et des trains de voyageurs ou mixtes sur les fortes rampes.

La chaudière, construite en tôle d'acier, avec les plus grands soins, est timbrée à 15 kg ; le foyer est en cuivre. La grille a une surface de 2,37 m<sup>2</sup> ; le corps cylindrique, dont le diamètre moyen est de 1<sup>m</sup>,400, contient 139 tubes à ailettes longs de 3 m, avec diamètre intérieur de 60 mm. Les tôles ont une épaisseur de 15 mm. La surface de chauffe totale, comptée au contact avec les gaz chauds, est de 161 m<sup>2</sup>,95.

La vapeur agit d'abord dans deux cylindres à haute pression, placés à l'intérieur des longerons ; le diamètre est de 360 mm, la course de 650 mm. Les pistons commandent le troisième essieu. La vapeur s'échappe dans un grand réservoir intermédiaire, formé d'un tuyau

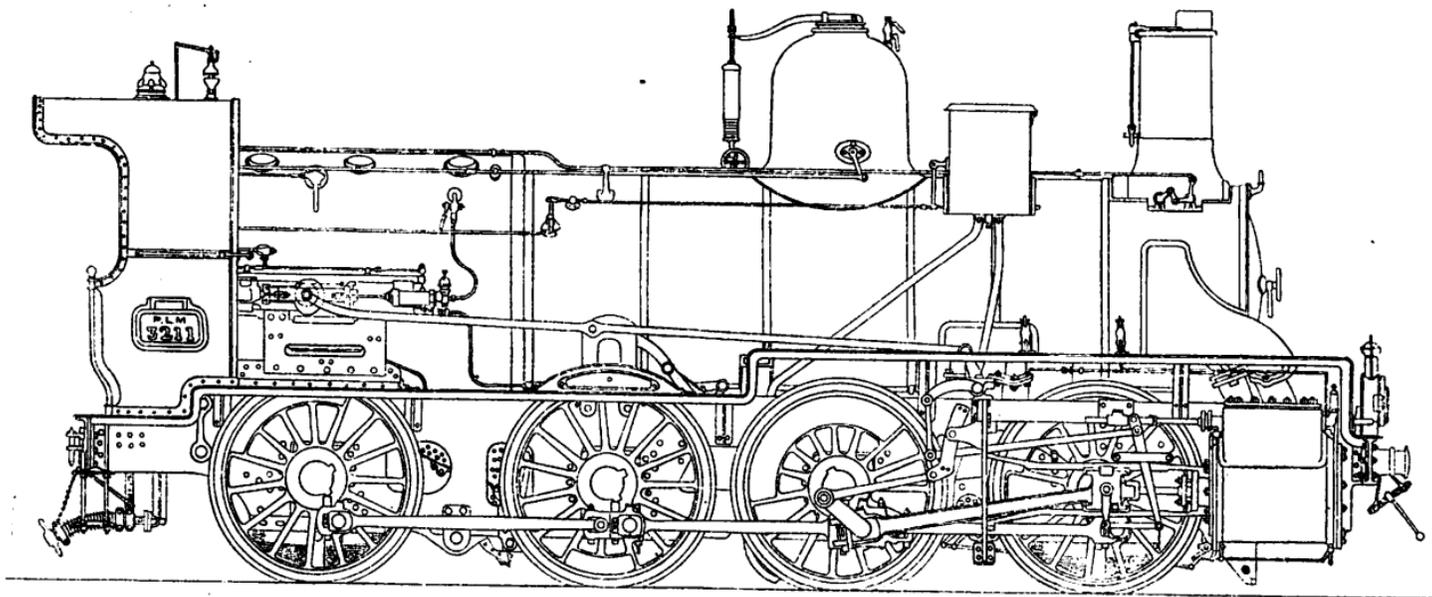


Fig. 193 bis. — Locomotives compound n° 3211-3300 de la compagnie de Lyon : élévation.

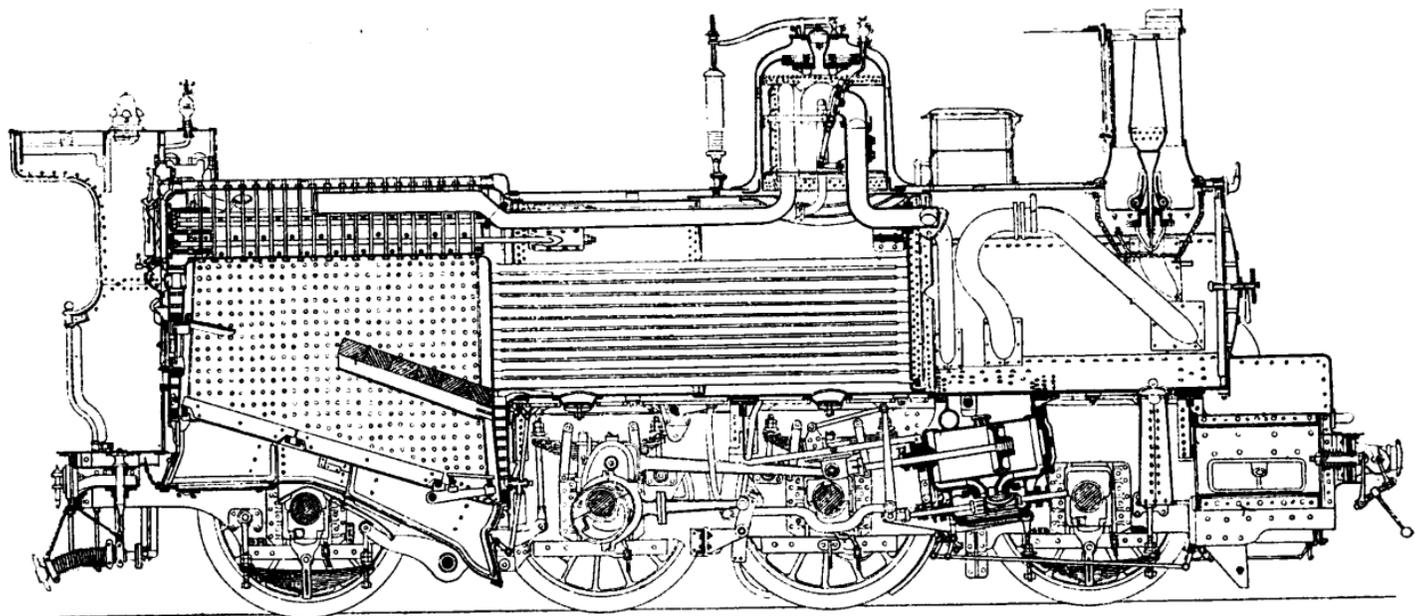


Fig. 193 *ter.* — Locomotives compound n<sup>os</sup> 3211-3300 de la compagnie de Lyon : coupe longitudinale.

à l'intérieur de la boîte à fumée (voir la fig. 59 bis), puis agit dans

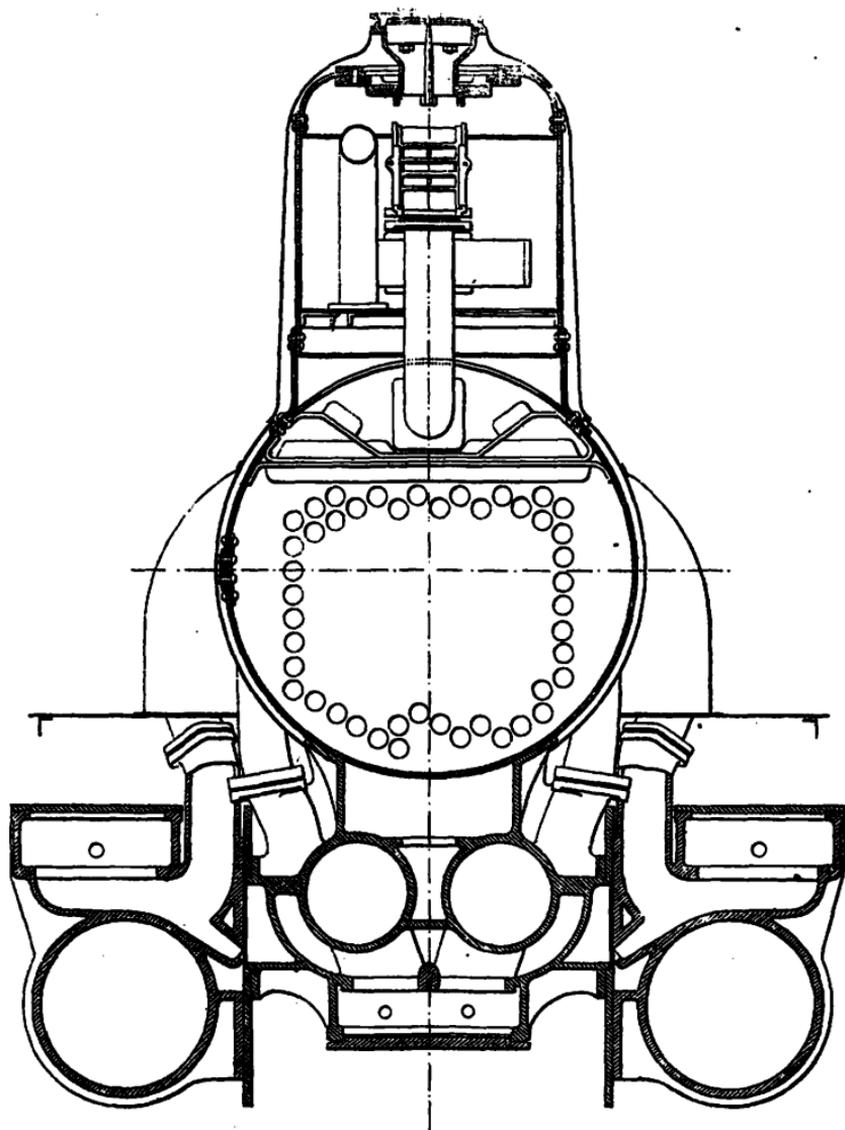


Fig. 193 *quater*. — Locomotives compound n<sup>os</sup> 3211-3300 de la compagnie de Lyon : coupes transversales.

les cylindres à basse pression, qui sont extérieurs et commandent le deuxième essieu. Leur diamètre est de 590 mm, avec course de 650 mm.

On remarquera que les coupes données figure 194 *quater* ne sont pas faites par un seul plan transversal, mais par des plans différents pour les deux groupes de cylindres.

Pour faciliter les démarrages, un robinet spécial permet l'envoi de vapeur dans le réservoir intermédiaire ; une soupape de sûreté y limite la pression.

Les distributions des deux groupes sont du système Walschaert : elles sont commandées simultanément par un changement de marche à vapeur (voir § 99), réglé de manière à donner dans les cylindres de chaque groupe les degrés d'admission jugés les plus convenables pour chaque cran de marche.

L'accouplement de tous les essieux contribue au bon équilibre des pièces des mécanismes.

Ces machines pèsent, vides, 50 à 51 tonnes, et 54 à 55 tonnes en ordre de marche. Les différences de poids tiennent surtout à ce que certaines de ces machines sont munies du frein à air comprimé. Ces locomotives ne sont pas plus difficiles à conduire que les locomotives ordinaires : elles ont seulement un plus grand nombre d'articulations à graisser.

On trouvera dans le § 139 quelques autres indications relatives aux locomotives compound à plusieurs cylindres.

---