

LA
DISTRIBUTION DE VAPEUR
DANS LES
LOCOMOTIVES

DESCRIPTION, PROJET, RÉGLAGE

PAR

N. HUFTY

Inspecteur Technique à la Société Nationale des Chemins de fer belges
Professeur à l'Université du Travail de Charleroi

Préface de N. RULOT

*Directeur de l'Exploitation de la Compagnie du Chemin de fer
du Congo*



— 1928 —

LA
DISTRIBUTION DE VAPEUR
DANS LES
LOCOMOTIVES

—•••—
DESCRIPTION, PROJET, RÉGLAGE

PAR

N. HUFTY

Inspecteur Technique à la Société Nationale des Chemins de fer belges

Professeur à l'Université du Travail de Charleroi

—
Préface de N. RULOT

*Directeur de l'Exploitation de la Compagnie du Chemin de fer
du Congo*



— 1928 —

EN VENTE CHEZ L'AUTEUR :
RUE DE BEAUMONT, 146, MARCINELLE

TOUS DROITS RÉSERVÉS

INTRODUCTION

Concentrer en peu de pages facilement assimilables tout ce qu'il faut connaître des distributions pour pouvoir les utiliser judicieusement et pour en établir les projets ; rassembler les matériaux épars, les coordonner, souvent les compléter, de façon à donner à l'ensemble unité et ampleur suffisante ; les façonner vers leur destination particulière : la locomotive ; rester simple sans devenir superficiel ; tels ont été notre but et notre tâche.

Avons-nous réussi ? A notre public spécial de répondre, techniciens des chemins de fer et de la construction.

PRÉFACE

M. Hufty, Inspecteur technique, de la Société Nationale des Chemins de fer présente au lecteur un ouvrage sur « La distribution de vapeur dans les locomotives » qui constitue le résumé du cours qu'il professe à l'Université du Travail de Charleroi.

A lire le titre de cet ouvrage, il semblerait, puisqu'il s'agit d'un sujet traité déjà dans maints cours et sous de nombreuses formes et de multiples aspects, que l'exposé de M. Hufty n'apporterait pas de contribution nouvelle en la matière.

Il n'en est rien. Au contraire, le travail qui nous occupe se distingue particulièrement parce qu'il est original, et parce que l'auteur a su y réunir dans un ensemble complet et harmonieux le point de vue théorique et le point de vue pratique.

L'ouvrage est original tout d'abord parce qu'il présente la théorie de la distribution en la dégageant de tout élément trop savant ou inutile, de façon à mettre cette théorie à la portée d'un élève d'école industrielle tout en la laissant suffisamment développée pour permettre la solution des divers problèmes qui se présentent couramment dans la pratique. L'exposé reste néanmoins assez élevé pour satisfaire même aux nécessités courantes de l'ingénieur.

Ce travail est original aussi parce qu'il traite les problèmes pratiques que pose l'étude des projets de distribution et du réglage de la distribution de la locomotive, d'une manière complète et précise, envisageant la généralité des cas de la pratique.

Ce travail est original enfin parce que les solutions présentées sont exposées jusque dans les plus petits détails qu'il est essentiel de connaître et qu'on laisse trop généralement à l'initiative ou à la fantaisie de l'ouvrier.

M. Hufty étudie d'autre part la distribution de vapeur dans les locomotives de façon complète. On y trouve en effet en premier lieu une « étude cinématique des distributions » qui comprend le bagage théorique nécessaire et suffisant pour aborder les chapitres suivants. Vient ensuite un chapitre sur le « fonctionnement des distributions » qui constitue un rappel simple des propriétés du diagramme de la pression de la vapeur dans les cylindres, de la définition des diverses phases de la distribution et des qualités et défauts de la distribution. Puis viennent les applications de la théorie, c'est-à-dire « l'étude du projet et de la construction d'une distribution » et « le réglage des distributions ».

Ainsi conçu, rédigé avec précision et avec un souci constant d'envisager tous les problèmes de la pratique, l'ouvrage présente le plus grand intérêt au point de vue de l'exploitation des chemins de fer. On sait en effet que la mise au point, le réglage de la distribution de vapeur dans la locomotive sont des problèmes importants. Mais il est certain que ces problèmes ne sont généralement pas estimés à leur juste valeur. Or, leur importance est capitale, que l'on considère la conservation des locomotives, la régularité du service ou la consommation de combustible. Ce dernier aspect de la question, la consommation de combustible surtout, ne retient pas assez l'attention des techniciens des chemins de fer. Il suffit pour s'en convaincre de constater que le réglage des distributions de vapeur s'effectue dans les remises au même titre que n'importe quelle autre opération, qu'elle n'est ni plus ni moins soignée, qu'elle est laissée trop souvent à l'initiative et aux soins d'agents subalternes, que les méthodes employées sont très diverses.

Et cependant quelle grande source d'économies de combustibles est liée à la bonne tenue de la distribution. Si tous les techniciens de chemins de fer en étaient suffisamment convaincus quels efforts ne feraient-ils pas pour perfectionner sans cesse leurs méthodes et leur organisation ; avec quels soins ne contrôleraient-ils pas la marche de leur atelier sous ce rapport ?

L'ouvrage de M. Hufty, envisagé à ces divers points de vue, comble une lacune ; il apporte au technicien des chemins de fer des méthodes saines, parfaitement raisonnées et dont le grand mérite est d'avoir été mûries au contact d'une longue pratique.

C'est pourquoi nous ne saurions trop recommander la lecture de ce livre aux agents désireux de s'instruire ou de se perfectionner, aux agents de surveillance des dépôts de locomotives et aux techniciens du service de la traction. Ils y trouveront à la fois un guide précieux et un excellent exposé de connaissances qui leur sont indispensables.

N. RULOT,
Directeur de l'Exploitation
de la Cie du Chemin de fer du Congo.

TABLE DES MATIÈRES

1^{re} Partie. — ETUDE CINEMATIQUE DES DISTRIBUTIONS.

A. — <i>Mécanisme : Tige, bielle, manivelle.</i>	
§ 2. — Cas général : La direction de la tige est excentrique à la manivelle	1
§ 3. — Cas spécial de la machine à vapeur : Le centre de l'arbre de la manivelle se trouve sur la direction de la tige. Graphiques	2
B. — <i>Distribution simple par tiroir simple.</i>	
§ 4. — Epure sinusoïdale	7
§ 5. — Epure de Zeuner	10
§ 6. — Propriétés de l'épure de Zeuner	13
§ 7. — Méthodes de Bilgram	15
§ 8. — Procédé de Brix	16
§ 9. — Diagramme de Müller-Reuleaux.	17
§ 10. — Epure circulaire	19
§ 11. — Epure elliptique	20
§ 12. — Laminage par les lumières se refermant avant détente	21
§ 13. — Modifications apportées à la distribution dans certains cas spéciaux	24
§ 14. — Caractères généraux de la distribution par tiroir simple à recouvrements	26
C. — <i>Distributions à tiroirs combinés</i>	27
D. — <i>Distributions genre Corliss</i>	28
E. — <i>Distributions à soupapes.</i>	29
F. — <i>Du renversement de la marche</i>	29
§ 19. — 1) <i>Distribution par coulisse de Stephenson</i>	30
§ 20. — Marche AV, Marche AR	31
§ 21. — Accroissement de la détente	32
§ 22. — Effets de l'obliquité des barres d'excentriques. - Construction des excentriques fictifs	34
§ 23. — Courbure de la coulisse	36
§ 24. — Angle d'oscillation de la coulisse	37
§ 25. — Suspension de la coulisse	37
§ 26. — Variations des examens selon que les barres sont droites ou croisées	41
§ 27. — Comparaison des barres droites et croisées	42
§ 28. — Emploi de la coulisse Stephenson	42
§ 29. — 2) <i>Distribution par coulisse de Gooch</i>	43
§ 30. — Courbe des excentriques fictifs	44
§ 31. — Courbure de la coulisse	44

§ 32. — Angle d'oscillation de la coulisse	44
§ 33. — Suspension de la coulisse. Position de l'arbre de relevage	45
§ 34. — 3) <i>Distribution par coulisse d'Allan</i>	46
§ 35. — Courbe des excentriques fictifs	46
§ 36. — Angle d'oscillation de la coulisse	47
§ 37. — Courbure de la coulisse	47
§ 38. — Suspension de la coulisse	47
§ 39. — 4) <i>Coulisse Walschaerts</i>	50
§ 40. — La coulisse Walschaerts dérive de la coulisse de Gooch	51
§ 41. — Courbe des excentriques fictifs. - Angle d'oscillation de la coulisse	53
§ 42. — Conditions pour que l'avance soit constante	54
§ 43. — Point d'attaque de la coulisse	54
§ 44. — Angle de calage de l'excentrique	56
§ 45. — Levier d'avance et sa commande	56
§ 46. — Arbre de relevage	58

2^e Partie. — FONCTIONNEMENT DES DISTRIBUTIONS.

A. — *Remarques sur les phases de la distribution.*

1) *De l'admission.*

§ 48. — Degré d'admission de marche normale et degré d'admission maximum	59
§ 49. — Faut-il réaliser l'égalité des admissions à l'avant et à l'arrière du piston ?	60
§ 50. — Chute de pression à l'admission	61
§ 52. — 2) <i>De la détente</i>	63
§ 53. — 3) <i>L'avance à l'échappement</i>	64
§ 54. — 4) <i>L'échappement</i>	66
§ 55. — 5) <i>La compression</i>	66
§ 56. — 6) <i>L'avance à l'admission</i>	67

B. — *Effets de l'obliquité des bielles motrices et barres d'excentrique sur une distribution simple.*

§ 58. — Action sur les avances à l'admission	69
§ 59. — Action sur les degrés d'admission AV et AR	70

C. — *Moyens employés pour réduire le laminage* 72

§ 62. — Le tiroir Allan-Trick, à canal	72
§ 63. — Le tiroir de Penn	74
§ 64. — Le tiroir Hochwald	75

D. — *Action du jeu des ressorts de suspension sur la distribution* 76

E. — *Glissement du coulisseau dans la coulisse* 76

3^e Partie. — PROJET ET CONSTRUCTION D'UNE DISTRIBUTION.

I. — <i>Distribution simple</i>	78
§ 68. — Tracé de l'épure	79
§ 69. — Echelle	79
§ 70. — Largeur des lumières	80
§ 71. — Tracé du tiroir simple, à coquille, et de sa glace	80
§ 72. — Tracé du distributeur cylindrique et de son fourreau	81
§ 73. — Tracé du tiroir Allan, à canal, et de sa glace	81
§ 74. — Tracé du tiroir cylindrique à double admission et échappement simple	83
§ 75. — Tracé du tiroir cylindrique à admission et échappement doubles	83
II. — <i>Distribution à coulisse.</i>	
§ 76. — a) <i>Distribution intérieure</i>	84
§ 77. — Degré d'admission du projet	84
§ 78. — Avance angulaire à l'admission	84
§ 79. — Choix des conditions de l'échappement	85
§ 80. — Echelle	87
§ 81. — Largeur des lumières	87
b) <i>Distribution Walschaerts.</i>	
§ 83. — Recherche de l'excentricité fictive pour le degré d'admission maximum	90
§ 84. — Recherche du rapport des segments du levier d'avance	90
§ 85. — Longueur du levier d'avance et position du point d'attaque	90
§ 86. — Centre d'oscillation de la coulisse	91
§ 87. — Position du point d'attaque de la coulisse. Amplitude du déplacement du coulisseau dans la coulisse. Excentricité	91
§ 88. — Calage de l'excentrique en avant ou en arrière de la manivelle	93
§ 89. — Première vérification du projet	93
§ 90. — Seconde vérification	93
§ 91. — Troisième vérification	94
§ 92. — Modèle en bois	95
c) <i>Autres distributions.</i>	
§ 93. — Méthode générale	97
<i>Distribution de Gooch.</i>	
§ 94. — Excentricité fictive pour le degré d'admission maximum	97
§ 95. — Longueur de la coulisse. Amplitude du déplacement du coulisseau	98
§ 96. — Emplacement de la coulisse. Recherche de l'excentrique réel et de l'angle de calage	98
§ 97. — <i>Distribution de Stephenson</i>	99

§ 98. — <i>Distribution d'Allan</i>	101
§ 99. — <i>Vérifications</i>	102
§ 100. — <i>Construction du petit mécanisme</i>	103

4^e Partie. — REGLAGE DES DISTRIBUTIONS.

§ 101. — I. — <i>Principe du réglage</i>	104
§ 102. — <i>Comment on trouve les points morts d'une manivelle</i>	105
§ 103. — <i>Comment on relève la grandeur des ouvertures maxima</i>	106
§ 104. — <i>Réglage par les ouvertures maxima ou par les avances ?</i> <i>Position du levier de changement de marche</i>	107
§ 105. — <i>Influence d'une erreur dans le calage des excentriques</i>	108
§ 107. — <i>Influence d'une mauvaise longueur de barre d'excentrique</i>	114
§ 108. — <i>Influence d'une mauvaise longueur de tige de tiroir</i>	116
§ 109. — II. — <i>Opérations et vérifications préliminaires</i>	116
§ 110. — III. — <i>Réglage d'une distribution Stephenson</i>	118
§ 111. — <i>Exemple numérique</i>	121
§ 112. — IV. — <i>Réglage d'une distribution Walschaerts</i>	123
§ 113. — <i>Exemple numérique</i>	127

La distribution de vapeur dans les locomotives.

—
Description. - Projet. - Réglage.
—

PREMIERE PARTIE.

—

Etude cinématique des distributions.

La distribution de vapeur, dans sa forme la plus simple, consiste, au point de vue cinématique, en deux mécanismes *tige, bielle et manivelle* rendus solidaires l'un de l'autre par l'arbre moteur ; leurs mouvements sont décalés l'un par rapport à l'autre d'un angle dénommé angle de calage.

Son étude repose donc sur la connaissance de ce mécanisme ; c'est ce qui nous amène à analyser d'abord celui-ci.

§ 1. — Convention.

Cette étude étant à l'usage spécial de la locomotive, nous prendrons comme direction A.V., l'avant de la locomotive, c'est-à-dire le côté cylindres.

A. — Mécanisme : Tige, Bielle, Manivelle.

§ 2. — Cas général.

La direction de la tige est excentrique à la manivelle.

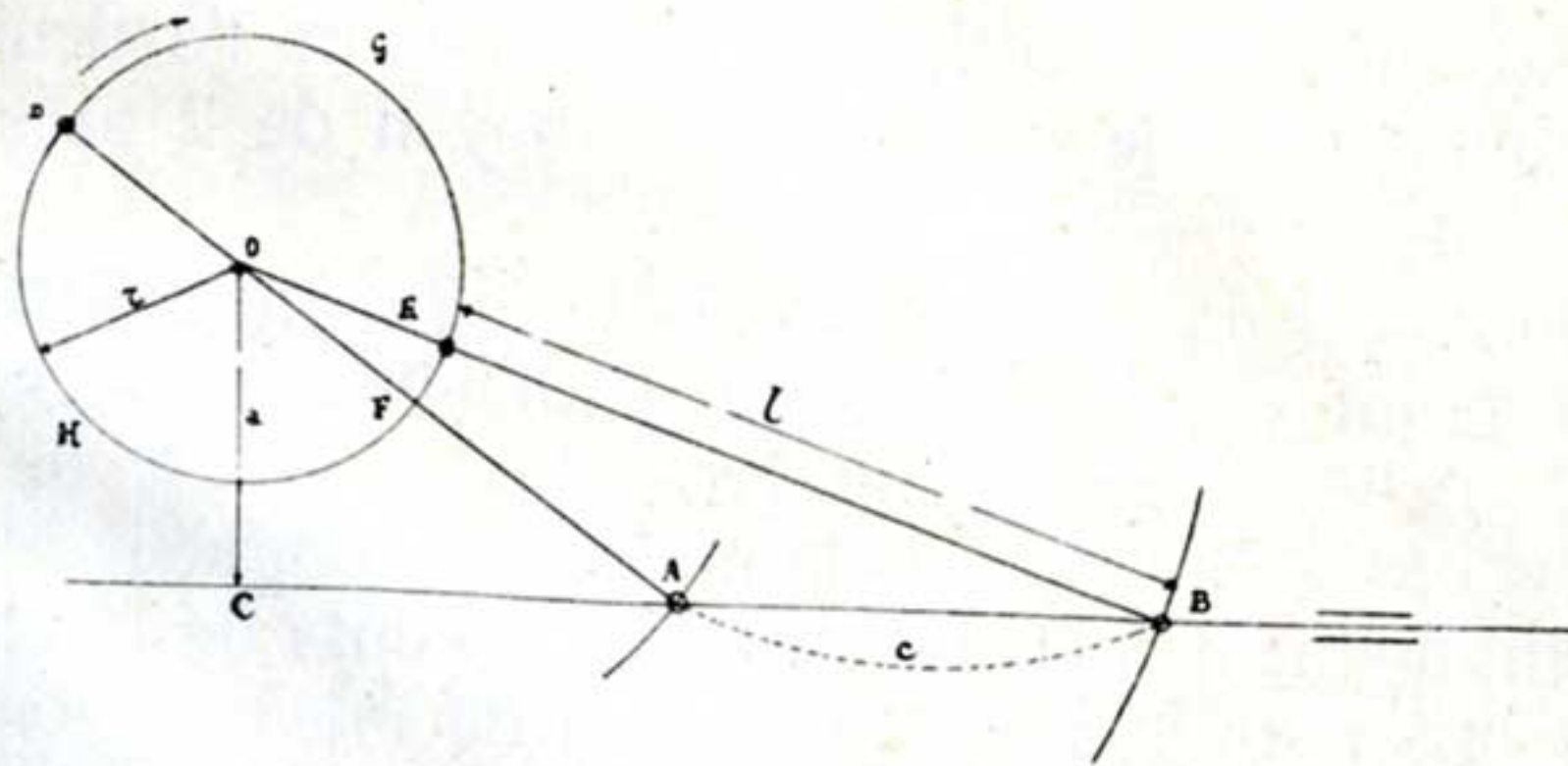


Fig. 1.

Le chemin parcouru par la tige se détermine en décrivant de O comme centre, des arcs de cercle de rayons $(l - r)$ et $(l + r)$ qui coupent la direction de la tige en A et B.

L'articulation de celle-ci passe de A en B pendant que le bouton décrit l'arc DGE (moindre qu'une $1/2$ circonférence) alors que ce bouton doit décrire l'arc EFHD (plus grand qu'une $1/2$ circonférence) pour que la même articulation soit ramenée de B en A. Cela revient à dire, si l'on admet que le bouton de manivelle décrit la circonférence d'un mouvement uniforme, que la tige se déplace de A en B, plus rapidement que de B en A.

Si la tige actionne un outil travaillant pendant le seul trajet BA, le retour de l'outil sera accéléré et on aura ce qu'on appelle une commande à retour rapide. Ce dispositif est employé dans certaines limeuses.

Dans le cas du mécanisme moteur de la machine à vapeur à double effet, il est, au contraire, nécessaire, la vapeur agissant successivement sur chacune des faces du piston, que les mouvements de celui-ci dans les 2 sens soient aussi peu dissemblables que possible, afin d'obtenir le maximum de régularité dans la distribution. On arrive à ce résultat en faisant passer la direction de la tige de piston par le centre de l'arbre sur lequel est calée la manivelle.

§ 3. — Cas spécial de la machine à vapeur.

Le centre de l'arbre de la manivelle se trouve sur la direction de la tige.

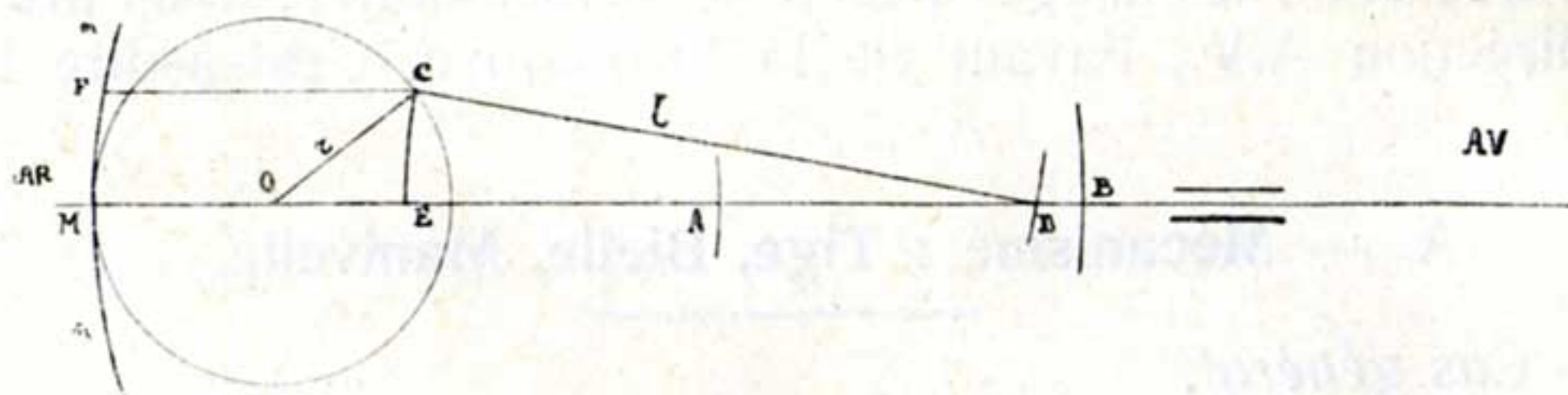


Fig. 2.

Les points extrêmes A et B des déplacements de l'articulation de la tige se déterminent comme ci-dessus au moyen de 2 arcs de cercles de rayons $(l - r)$ et $(l + r)$.

Le chemin parcouru par la tige depuis l'origine du mouvement (correspondant au point mort AR de la manivelle) s'obtient pour une position OC de celle-ci en traçant l'arc de cercle CE de rayon $l =$ longueur de bielle. Ce chemin est donné par la longueur ME. On peut l'obtenir plus simplement pour les différents points de la circonférence en traçant une fois pour toutes l'arc mMm de même rayon et tangent en M à la circonférence. Il suffit alors, pour une position quelconque C

du bouton de manivelle, de mener une parallèle CF à la ligne des points morts. Le chemin parcouru est $CF = ME$.

Le graphique des parcours de la tige peut se tracer facilement. Il suffit de porter en abscisses les déplacements du bouton de manivelle et en ordonnées les déplacements correspondants de la tige. On divise la circonférence en un certain nombre, 16, par exemple, de parties égales. Soit $l = 5r$.

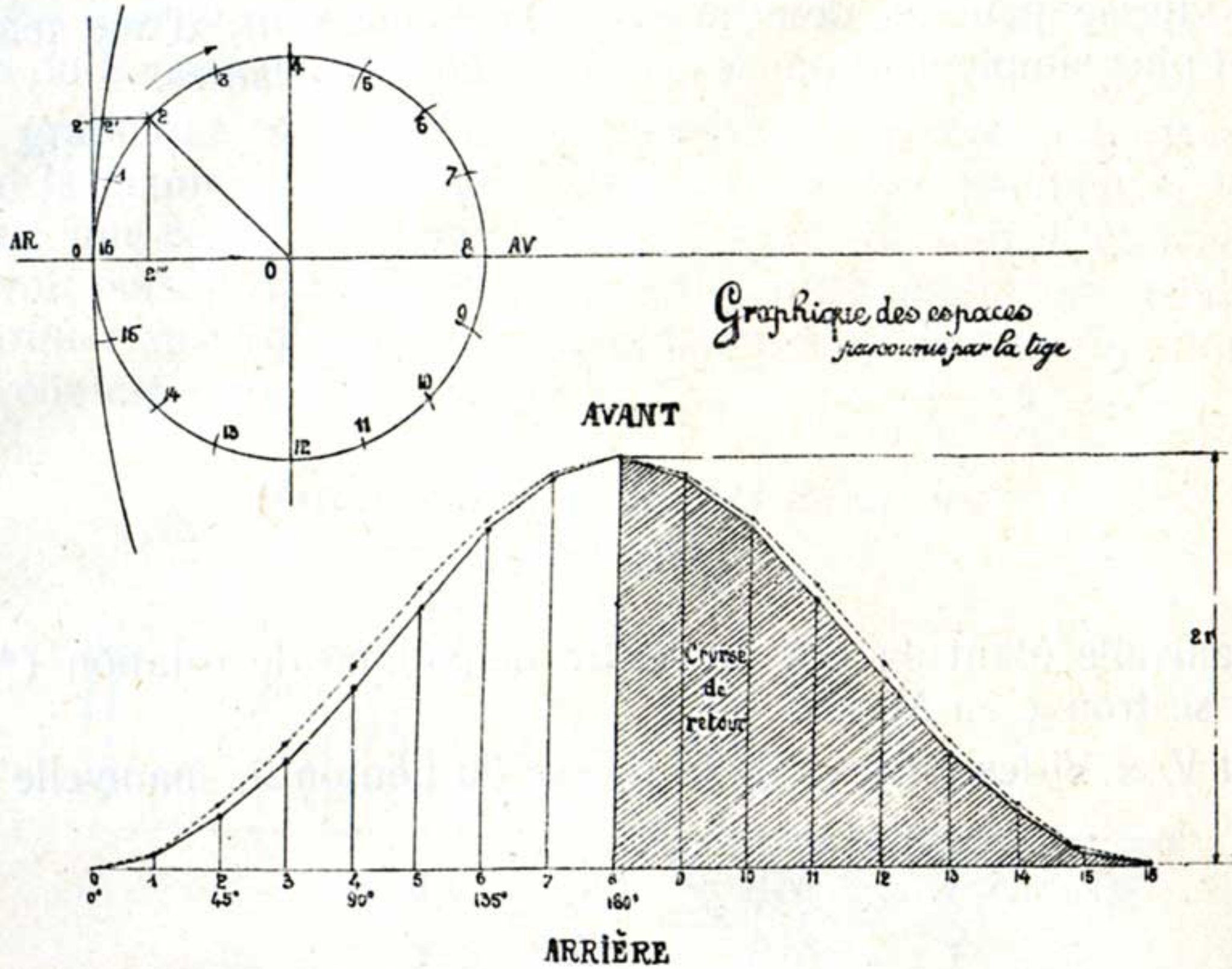


Fig. 3.

On remarquera que le parcours du piston pendant que la manivelle passe de 0 en 4, c'est-à-dire pendant le 1^{er} quart de tour, est inférieur à celui correspondant au déplacement de la manivelle de 4 en 8, c'est-à-dire pendant le 2^e quart de tour. C'est là une conséquence de l'obliquité de la bielle ainsi qu'on va le voir.

Si la bielle était infinie, elle resterait toujours parallèle à la direction du déplacement de la tige ; l'arc de cercle tangent en O se transformerait en une droite, tangente au même point ; le déplacement de la tige pour une position quelconque 0-2 de la manivelle ne serait plus 2-2' mais bien 2-2'' égal à 0-2''', c'est-à-dire qu'il serait égal à la distance du point mort à la projection du bouton de manivelle sur la direction de la tige.

On néglige souvent, dans l'étude du fonctionnement d'une distribution, par exemple, et en général, là où ne vise pas à une grande exactitude, l'obliquité de la bielle. On possède alors des solutions plus simples, néanmoins satisfaisantes pour le but envisagé.

Les déplacements de la tige, dans l'hypothèse d'une bielle infinie, sont représentés en pointillé sur le diagramme. L'erreur commise est maximum pour la position verticale de la manivelle. Contrairement à ce qui se produit quand la bielle a une longueur finie, les déplacements de la tige sont égaux quand la manivelle passe de 0 en 4 et de 4 en 8.

La *vitesse de la tige* à un moment quelconque est la dérivée de l'espace par rapport au temps. Le graphique des vitesses pourrait donc se déduire de celui des espaces, par l'inclinaison des tangentes.

Cette vitesse peut se déterminer géométriquement, d'une manière exacte et plus simplement par les considérations suivantes.

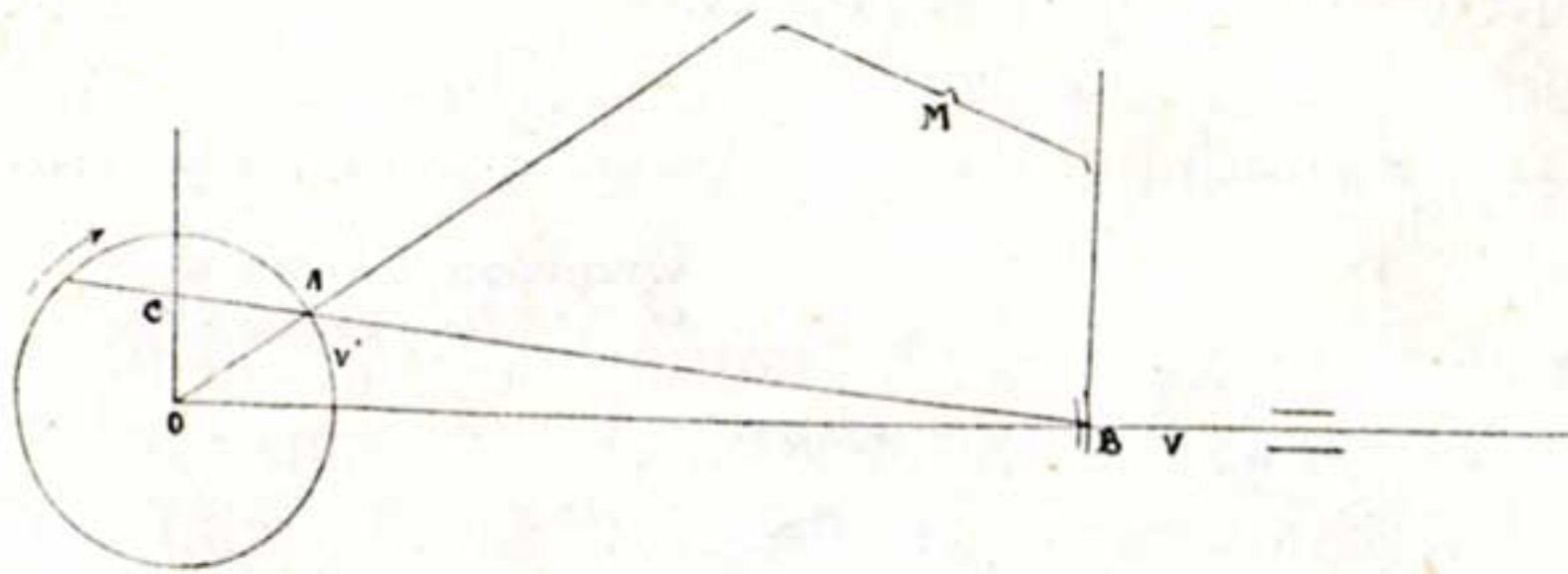


Fig. 4.

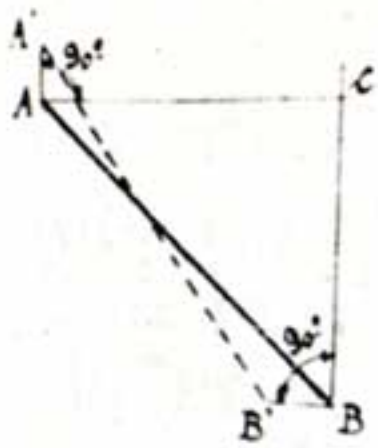
La manivelle étant en OA, le centre instantané de rotation (*) de la bielle se trouve en M.

Soient V et V' les vitesses de la tige et du bouton de manivelle à cet instant.

$$\frac{V}{V'} = \frac{MB}{MA} = \frac{OC}{OA} = \frac{OC}{r}.$$

$$V = V' \times \frac{OC}{r} \quad \text{Or, } V' = \omega r. \quad \text{Donc, } V = \omega \times OC.$$

(*) Des points A et B sont reliés entre eux par une barre rigide et se déplacent simultanément ; soient A' et B' deux positions *très voisines* qu'ils viennent occuper. Le point A a décrit la trajectoire AA' ; le point B la trajectoire BB'.



Si on élève en A et B des perpendiculaires aux trajectoires, on peut dire que ces points se sont déplacés comme si on avait fait subir à l'ensemble une très légère rotation autour du centre C ; cette affirmation est valable pour autant que le déplacement ait été très faible, et qu'il n'ait duré qu'un instant ; de là le nom de *centre instantané de rotation* donné au point C ; ce point se déplace continuellement pendant le mouvement de A et de B.

La notion du centre instantané de rotation est très utile dans la recherche des vitesses des différents points d'un mécanisme à un moment donné. En effet, dans le cas simple envisagé, les vitesses de B et de A, au moment considéré, sont dans le rapport des rayons CB et CA.

Si les trajectoires de deux points d'un mécanisme sont connues, les centres instantanés de rotation s'obtiennent facilement ; quand une trajectoire est courbe, le rayon a la direction de la normale.

Pour suivre les variations de vitesse du piston, on considère les variations de OC, le point C étant le point de rencontre de la direction de la bielle avec le diamètre vertical du cercle décrit par la manivelle.

Pour tracer le graphique, il suffit de tracer la longueur de bielle, à l'échelle, sur un papier calque, de placer son extrémité A à l'emplacement du bouton de manivelle, son extrémité B sur la direction de la tige et de prendre l'intersection avec le diamètre vertical. Les longueurs trouvées sont portées en ordonnées ; on porte en abscisses les déplacements du bouton de manivelle.

Le graphique montre que les vitesses de la tige sont plus faibles quand la manivelle passe de 0 en 4, c'est-à-dire pendant le 1^{er} quart de tour, que celles correspondant au 2^e quart de tour. C'était d'ailleurs à prévoir puisque les parcours sont différents pendant les mêmes temps. Remarquer aussi que la vitesse maximum n'est pas atteinte lorsque la manivelle est verticale.

Graphique des vitesses de la tige.

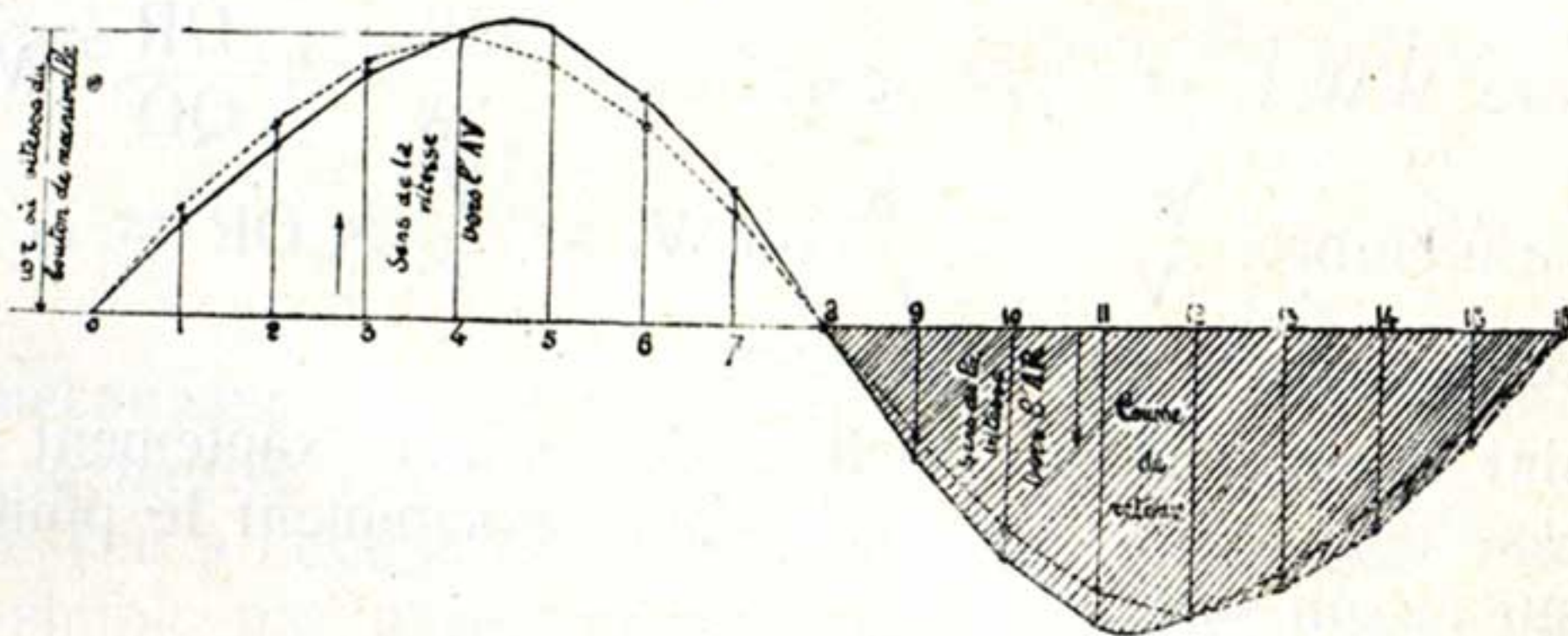


Fig. 5.

Si on suppose la bielle infinie, la droite AC est parallèle à la tige ; la vitesse de celle-ci est alors mesurée par la distance du bouton A à la ligne des points morts. Le graphique se présente comme l'indique le pointillé.

L'erreur commise en adoptant cette hypothèse est surtout importante pour les positions de la manivelle proches de la verticale du côté cylindre. Pour ce dernier côté, les vitesses sont trop faibles ; elles sont trop fortes pour l'autre côté.

L'accélération de la tige à un moment quelconque est la dérivée de la vitesse par rapport au temps. Le graphique des accélérations pourrait donc se déduire de celui des vitesses. On peut le déterminer géométriquement, d'une manière plus exacte, en raisonnant comme suit. L'accélération cherchée n'est rien d'autre que la variation de vitesse. La vitesse étant représentée par la longueur CO, l'accélération cherchée sera la vitesse avec laquelle le point C se déplacera sur CO.

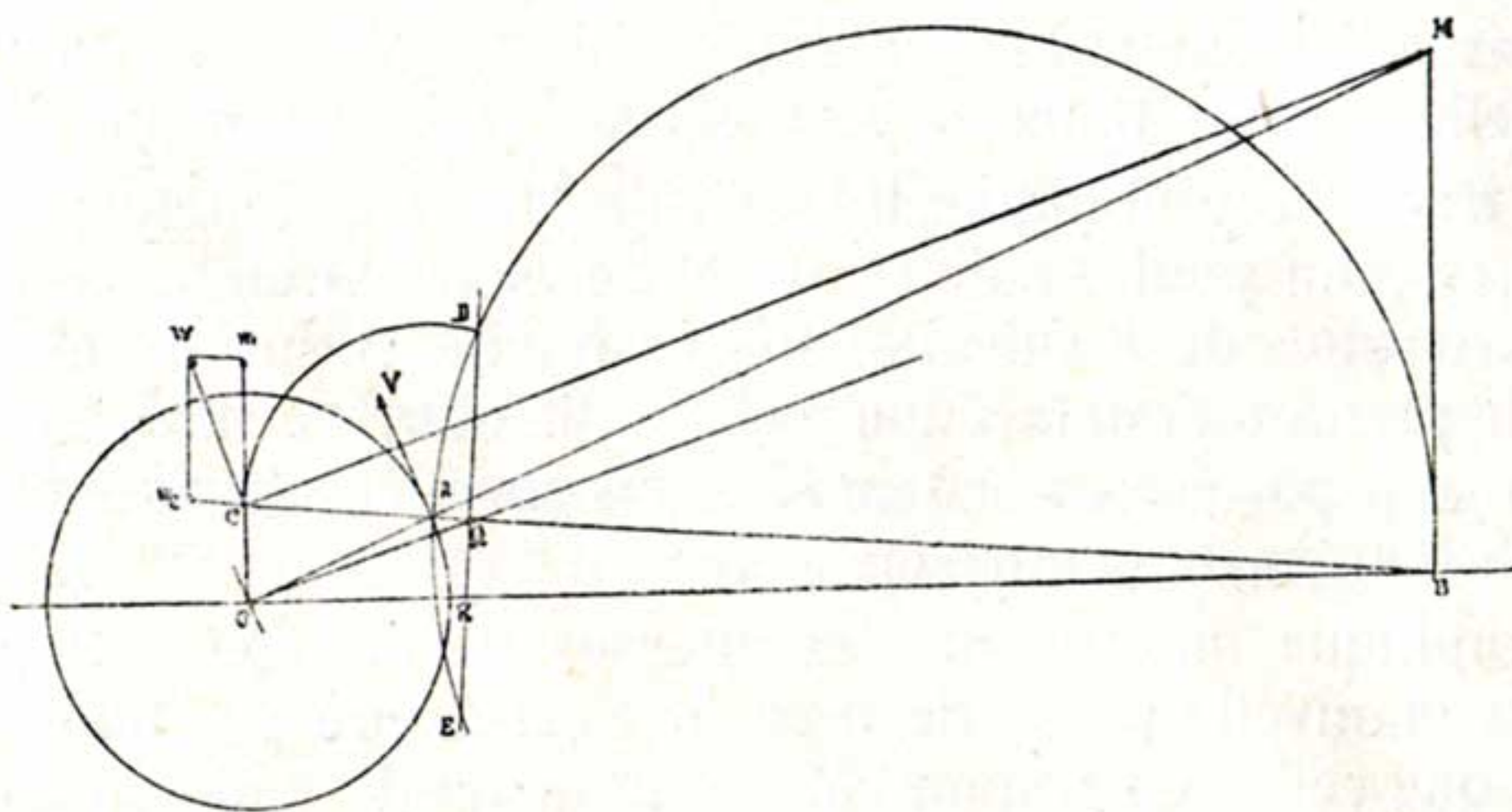


Fig. 6.

Menons OQ parallèle à MC et élevons QR perpendiculaire sur CB.

$$\frac{W}{V} = \frac{MC}{MA} = \frac{QO}{AO} = \frac{QO}{r}. \text{ (triangles MCA, QOA semblables).}$$

En outre WW_1C et OQR semblables : $\frac{W_1}{W} = \frac{OR}{QO}$. Multiplions membre à membre. $\frac{W_1}{V} = \frac{OR}{r}$ ou $W_1 = \frac{V}{r} \times OR = \omega \times OR$ est la mesure de l'accélération cherchée.

Le point Q est parfois difficile à déterminer exactement du fait de la petitesse des angles. On trouve plus exactement le point R en se basant sur ce qui suit :

$$\overline{AC}^2 = AQ \times AB.$$

En effet : triangles MCA, OAQ semblables : $\frac{AC}{AM} = \frac{AQ}{OA}$.

triangles CAO, MAB semblables : $\frac{AC}{OA} = \frac{AB}{AM}$.

Multipliant membre à membre : $\overline{AC}^2 = AQ \times AB$.

Or, si on décrit une circonférence sur AB comme diamètre, on sait que $\overline{AD}^2 = AQ \times AB$.

Pour trouver Q et R, il suffit donc de prendre $AD = AC$.

La règle est ainsi la suivante : Tracer sur un calque la longueur de bielle et une circonférence ayant cette longueur comme diamètre. Poser le calque de façon qu'une extrémité du diamètre vienne coïncider avec le bouton de manivelle et que l'autre se trouve sur la direction de la tige. Amener sur le calque le point C en D et E ; joindre DE qui fournit le point R.

Graphique des accélérations de la tige.

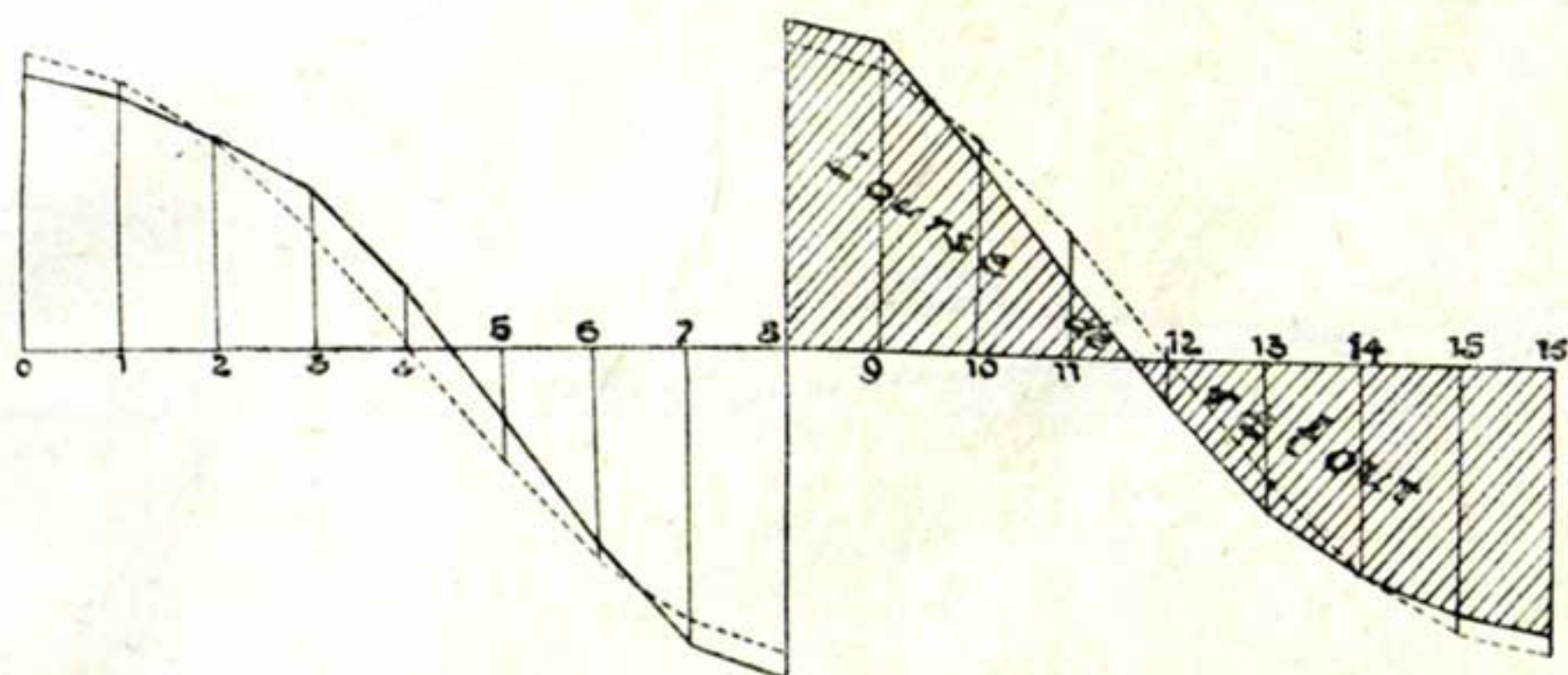


Fig. 7.

Si on suppose la bielle de longueur infinie, le point R se trouve toujours sur la perpendiculaire abaissée du bouton de manivelle sur la ligne des points morts ; l'accélération est représentée par la distance du centre au pied de cette perpendiculaire.

Le tracé du graphique est simplifié considérablement.

* * *

Le mécanisme que nous venons d'étudier est celui qui est utilisé pour transmettre l'effort de la vapeur sur le piston à l'arbre de la machine (ou à l'essieu de la locomotive) et pour relier dans la distribution simple par tiroir l'organe de distribution à la rotation de cet arbre.

Dans les graphiques précédents, nous avons toujours porté en abscisses les déplacements du bouton de manivelle ; à une échelle convenable, ces abscisses pourront représenter les déplacements angulaires de la manivelle et de l'arbre.

B. — Distribution simple par tiroir simple.

Dans ce qui va suivre, il nous arrivera fréquemment, pour alléger la phrase, de désigner respectivement par les initiales d.m.t. et d.m.p. la direction du mouvement du tiroir et celle du mouvement du piston.

§. 4. — Le mécanisme de cette distribution consiste en deux mécanismes tige, bielle et manivelle reliés au même arbre et dont les mouvements sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme on le sait, l'angle de décalage est égal à 90° augmenté de l'angle d'avance.

L'étude de cette distribution repose sur la connaissance des positions simultanées du piston, commandant le 1^{er} mécanisme, et du tiroir, commandé par le second.

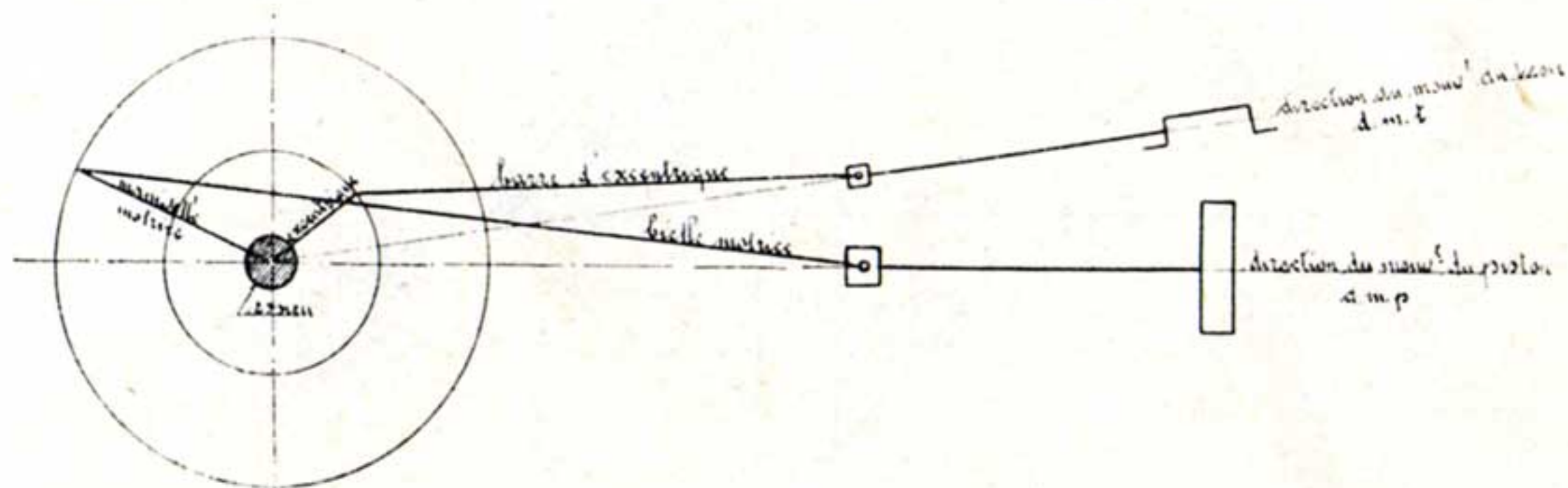


Fig. 8.

D'après ce qui a été dit dans le chapitre précédent, il suffit, pour connaître ces positions, de porter en abscisses les déplacements angulaires de l'arbre (à une échelle quelconque) et en ordonnées les déplacements correspondants du piston et du tiroir, le point mort du tiroir précédant (dans le cas d'admission de vapeur par l'extérieur du tiroir) de $90^\circ + \delta$ le point mort correspondant du piston. On obtient un graphique de la forme générale ci-après. Ce graphique permet de voir que, lorsque l'arbre a effectué un déplacement angulaire de 240° , par exemple, à partir d'une position initiale correspondant au point mort AR du piston, celui-ci se trouve à la distance ab , le tiroir à la distance ac , tous deux de leur point mort AR.

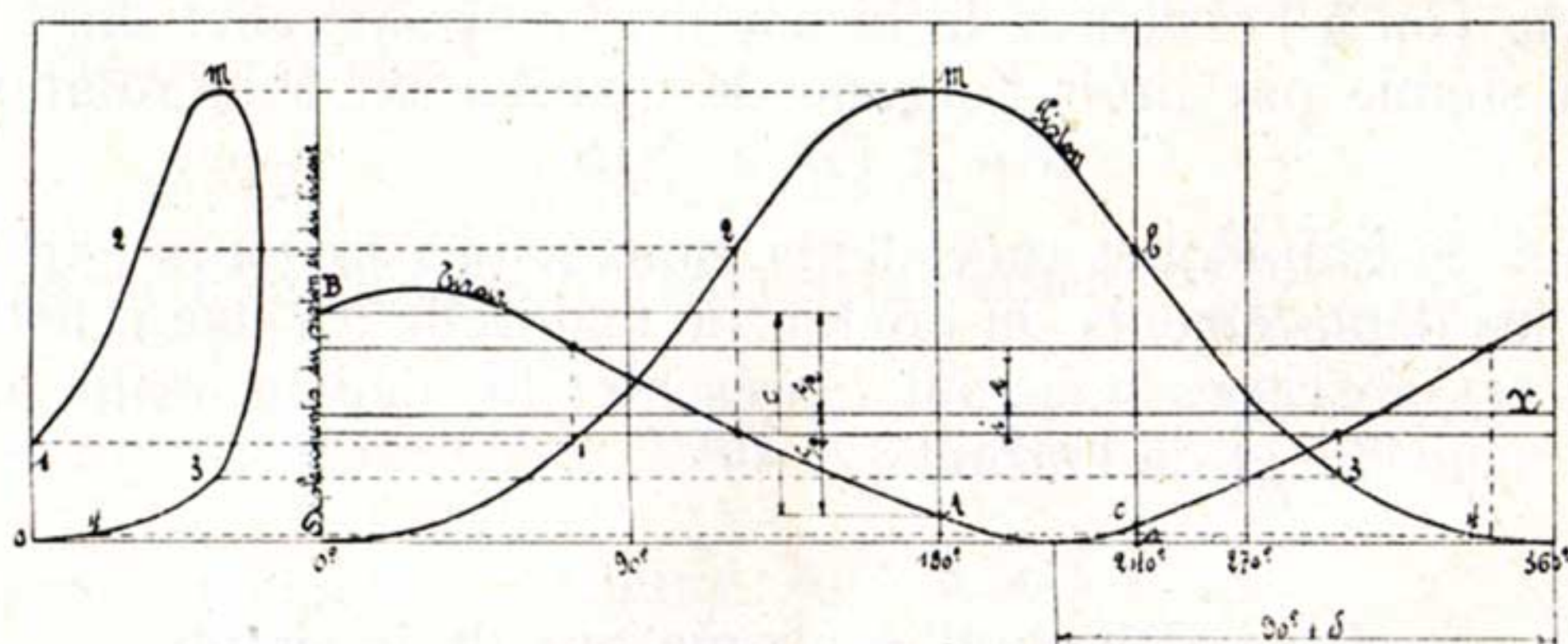


Fig. 9.

Mais pour se rendre compte de la manière dont se fera la distribution de vapeur ce qu'il faut pouvoir suivre, ce sont les positions *relatives* des arêtes a, b, c, d , du tiroir et des bords e, f, i, j , des lumières ; on y parvient avec simplicité par la notion de ce qu'on appelle le *recouvrement extérieur* et le *recouvrement intérieur* ; ces recouvrements se déterminent en faisant coïncider les axes transversaux de symétrie du tiroir et de la glace, en d'autres termes, en plaçant le tiroir dans sa

position moyenne *idéale* (qui n'est pas en réalité sa position moyenne, c'est-à-dire, la position correspondant au milieu de son parcours) ; pour cette position les recouvrements extérieurs sont égaux (on les désigne alors par la lettre *e*) ainsi que les recouvrements intérieurs (lettre *i*).

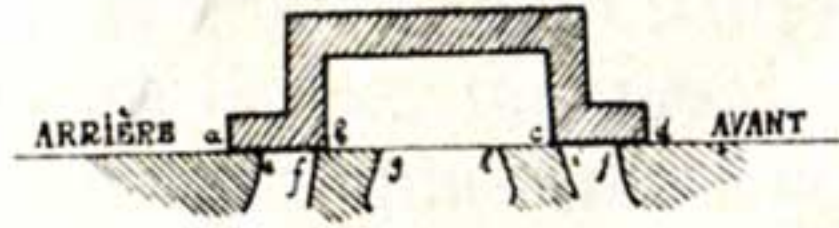


Fig. 10.

Si le tiroir se déplace alors vers l'avant, par exemple, on pourra dire que l'admission à l'arrière du piston commencera après que le tiroir aura parcouru vers l'avant la distance *e* à partir de sa position moyenne idéale ; que l'échappement à l'avant aura lieu dès qu'il aura parcouru dans le même sens la distance *i* à partir de sa position moyenne idéale, etc. Les diverses phases de la distribution apparaissent ainsi bien plus clairement que si on rapportait les parcours du tiroir à l'un de ses points morts.

Dans le graphique ci-dessus, il faudra donc tracer parallèlement au premier, un second axe des X, correspondant à la position moyenne idéale du tiroir, *ad* sera la distance parcourue par le tiroir entre son point mort arrière et sa position moyenne idéale.

Cette position moyenne idéale du tiroir se détermine, sur le graphique, par la considération ci-après : nous verrons plus tard que le réglage d'une distribution se fait, en général, en rendant les avances égales ; il suffit donc de pointer, sur la courbe relative au tiroir, les positions d'avance A et B (qui correspondent aux points morts du piston) ; le nouvel axe des X relatif au tiroir se tracera à mi-distance (mesurée verticalement) de ces deux points.

Si on veut étudier la distribution sur la face AR du piston, on remarquera que lorsque le tiroir se trouve en avant de sa position moyenne idéale, c'est l'arête *a* qui est distributrice ; quand le tiroir est en arrière de cette position c'est l'arête *b*. On tracera donc dans la partie supérieure du graphique (correspondant aux déplacements en avant de la position moyenne idéale) deux parallèles à l'axe des X, aux distances *e* et *a* (*a* étant la largeur de la lumière d'admission) ; dans la partie inférieure, 2 parallèles aux distances *i* et *a*.

Le diagramme théorique tracé sur la gauche donne la distribution résultant du graphique.

On étudierait de même la distribution sur la face A. V. du piston. Il faudrait alors porter *i* dans la partie supérieure et *e* dans la partie inférieure. Ce graphique s'appelle *l'épure sinusoidale*.

Cette épure est très claire ; elle s'emploie surtout pour étudier le fonctionnement d'une machine construite ; mais, dans ce cas, elle ne s'obtient pas évidemment d'après la méthode qui vient d'être indiquée, qui ne pourrait s'appliquer que dans le cas d'un projet ; il faut au contraire relever directement sur la machine les déplacements du piston et du tiroir correspondant aux déplacements angulaires de l'arbre. Elle tient compte du jeu qui peut exister dans le mécanisme de distribution. Pour les projets, elle ne convient pas. Il existe, comme nous allons le voir, des épures beaucoup plus simples.

§ 5. — *Epure de Zeuner.*

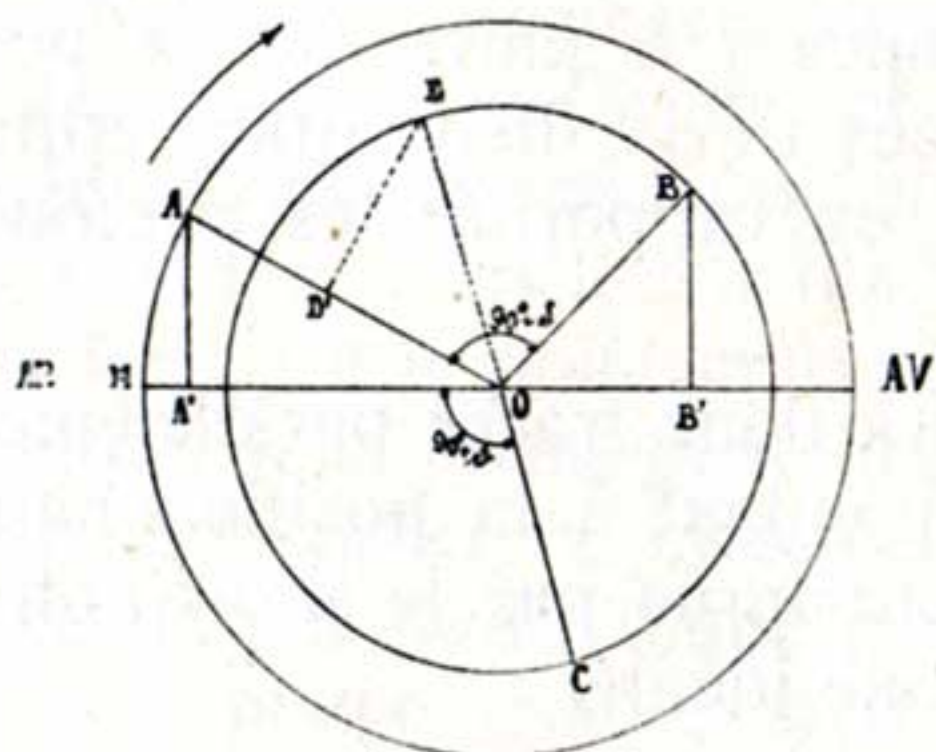


Fig. 11.

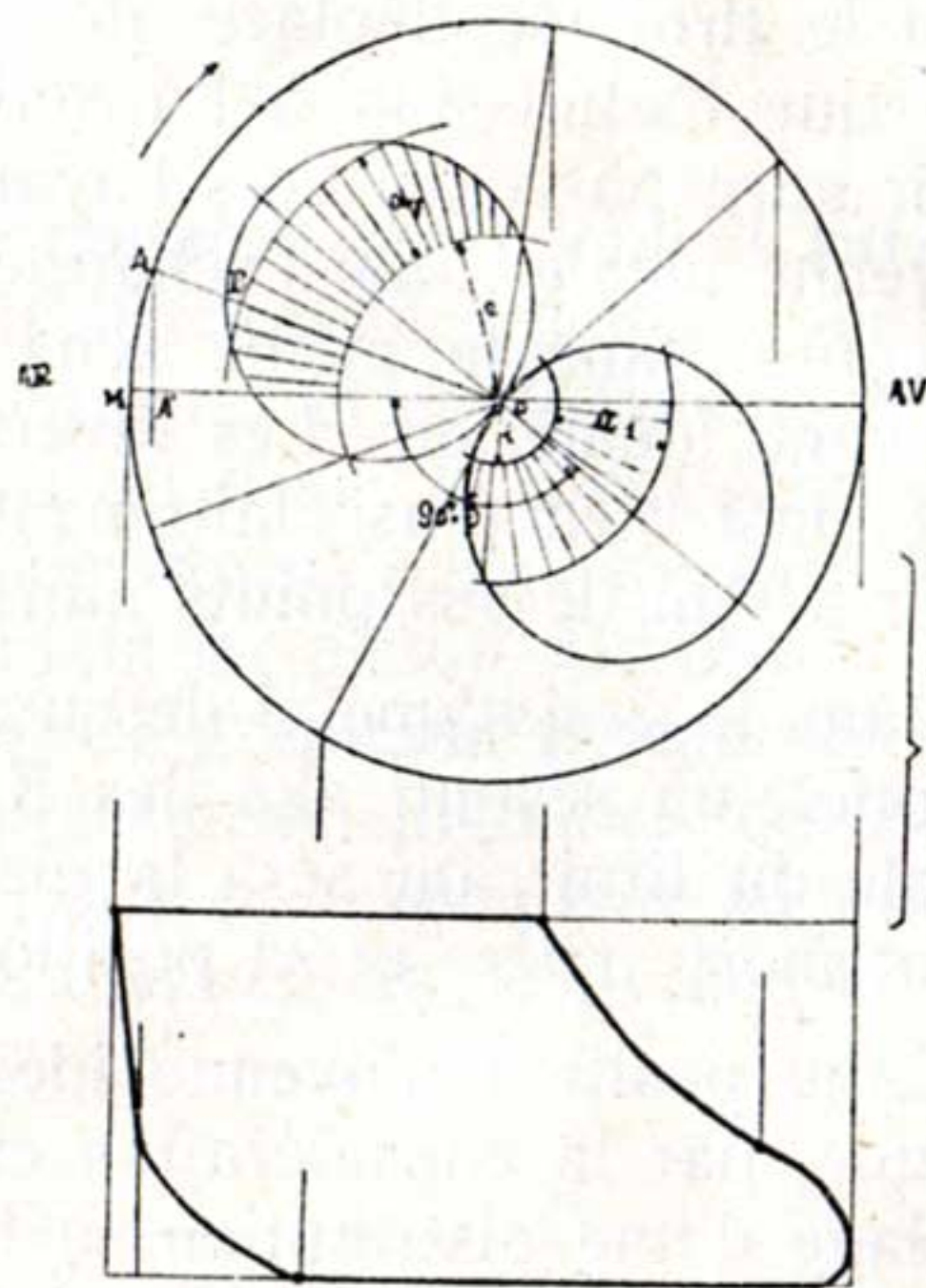


Fig. 12.

Supposons la bielle motrice et la barre d'excentrique de longueur infinie.

La manivelle motrice étant en OA, l'excentrique est en OB.

Le piston, à ce moment, se trouve à la distance MA' de son point mort AR.

Le tiroir est à la distance OB' en avant de sa position moyenne idéale.

Traçons l'angle MOC = angle de calage, en arrière de la position initiale de la manivelle. De l'égalité des angles DOD', BCB', on conclut que dans les triangles rectangles DOD', BOB', les côtés OB' et OD' sont égaux.

Tous les points analogues à D' se trouvent sur la circonférence décrite sur OD comme diamètre. D'où la construction de l'épure :

A partir de la position du point mort AR de la manivelle motrice, on porte l'angle de calage en sens inverse du calage.

On décrit une circonférence sur chacun des rayons d'excentrique comme diamètre.

Pour une position quelconque OA de la manivelle motrice, le piston se trouve à la distance MA' de son point mort AR et le tiroir à la distance OE (segment intercepté) *en avant* de sa position moyenne idéale, lorsque E appartiendra à la circonférence se trouvant du côté du calage réel ; *en arrière*, dans le cas contraire.

*
* *

Avec le sens de marche indiqué (marche avant), les arêtes distributrices sont :

pour la face AR du piston : F et G ;

pour la face AV du piston : H et I.

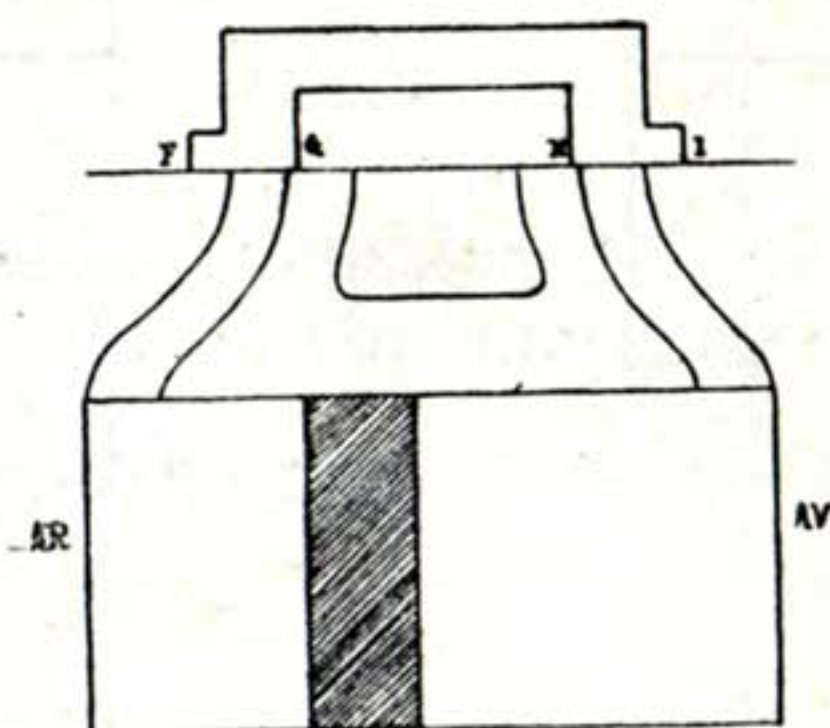


Fig. 13.

Si on étudie le travail de la vapeur sur la face arrière du piston, l'épure doit marquer : 1° les positions du tiroir à la distance e en avant de sa position moyenne idéale. 2° ses positions à la distance i en arrière de cette même position moyenne. Il suffit donc de tracer de O comme centre des arcs de cercle, de rayons respectifs e et i , coupant les circonférences de Zeuner correspondantes. Les intersections déterminent les différentes phases pour la face AR du piston ; le diagramme peut se tracer comme il est indiqué ; des arcs de cercle, concentriques aux 1^{ers} donnent les ouvertures.

Pour la face AV, les différents arcs de cercle doivent être disposés en sens inverse.

Les épures pour les marches avant et arrière de la machine sont données ci-après.

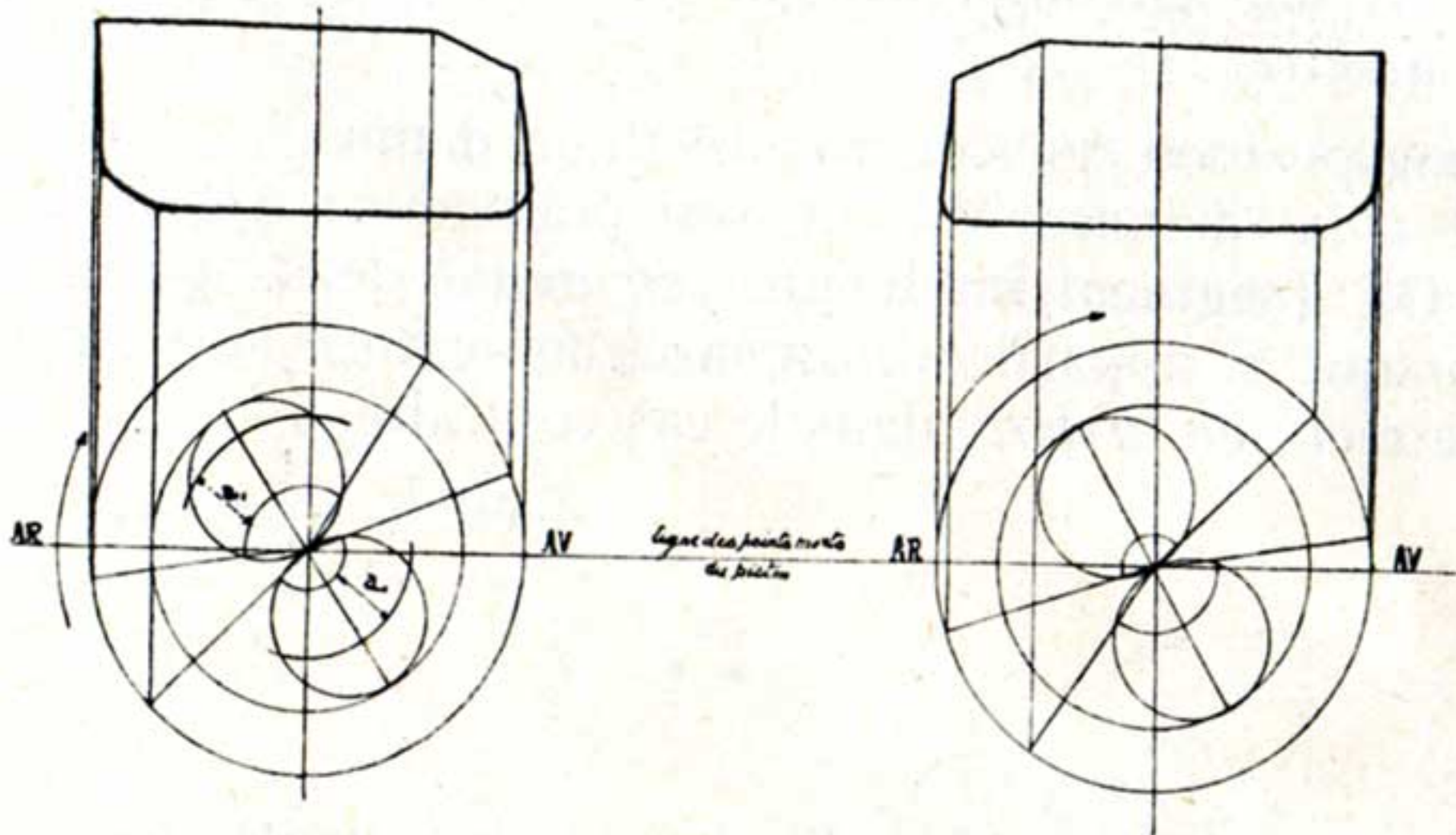


Fig. 14.

Fig. 15.

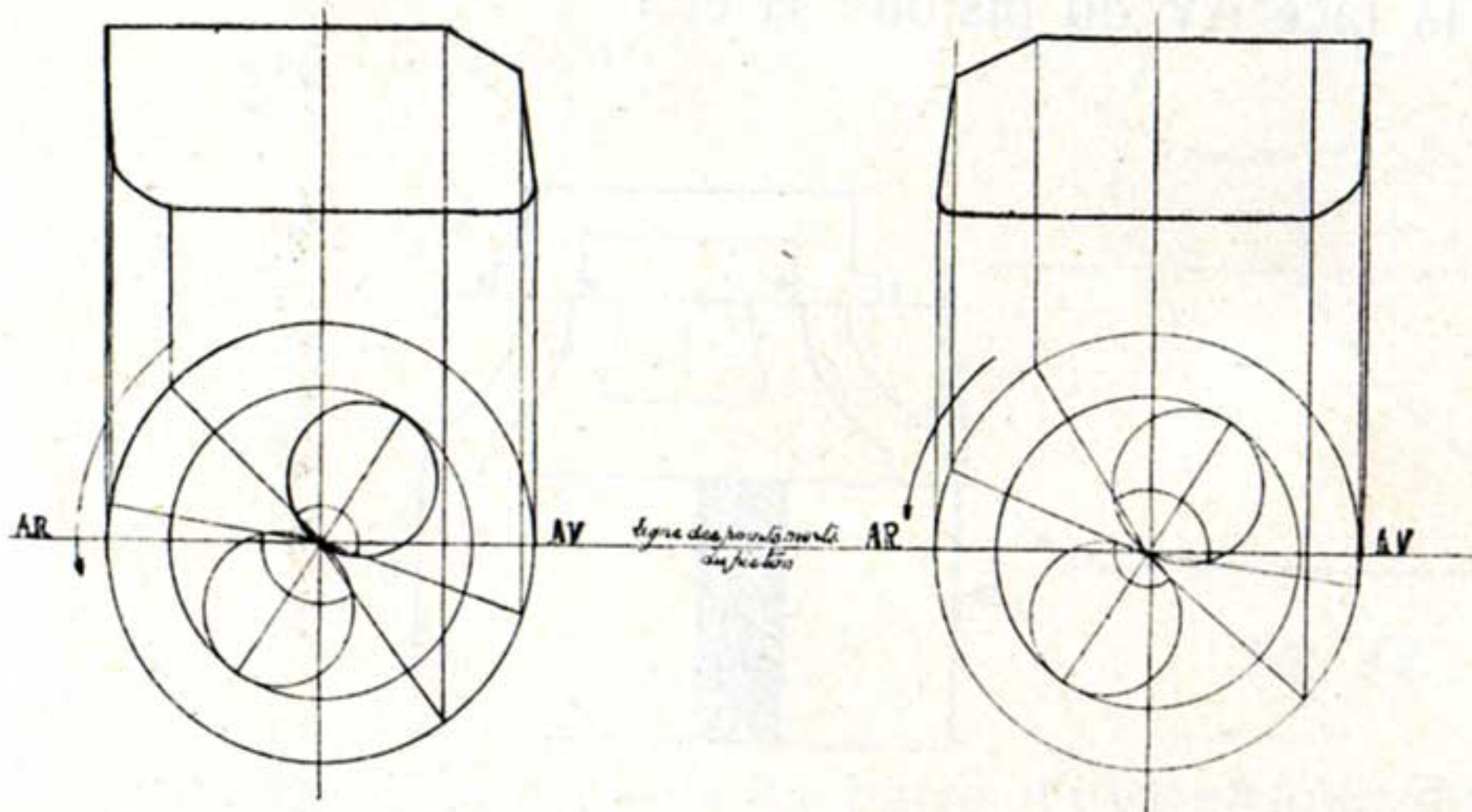


Fig. 16.

Fig. 17.

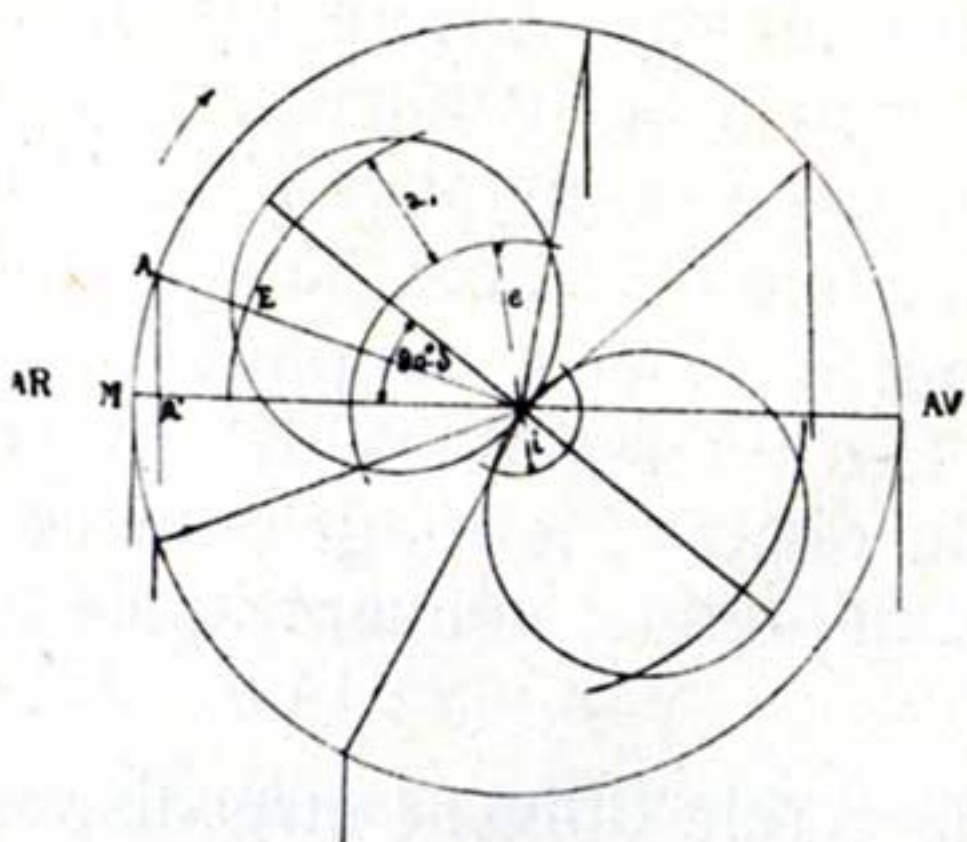


Fig. 18.

Supposons maintenant le cas d'un excentrique calé à $(90^\circ - \delta)$ en arrière de la manivelle. L'épure reste identique, seul est renversé le sens indiqué par chacun des cercles.

* * *

On peut se contenter de décrire le cercle correspondant à la position du tiroir en AV de sa position moyenne. On obtient le même résultat étant entendu que les rayons qui ne coupent la circonférence que par leur prolongement correspondent à une position du tiroir en AR de sa position moyenne. Cette méthode est plus simple à retenir : Ne pas changer le sens du calage. Tracer l'excentricité symétrique à l'excentricité réelle par rapport à la position à 90° . Décrire le cercle.

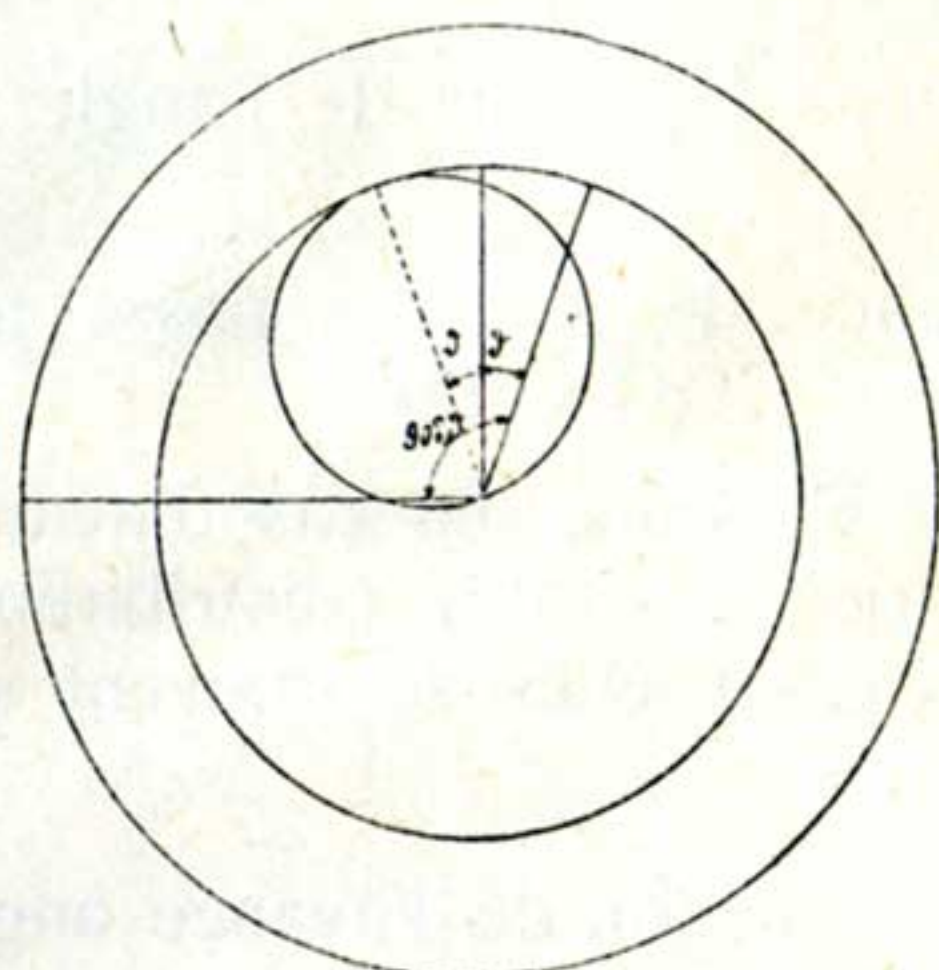


Fig. 19.

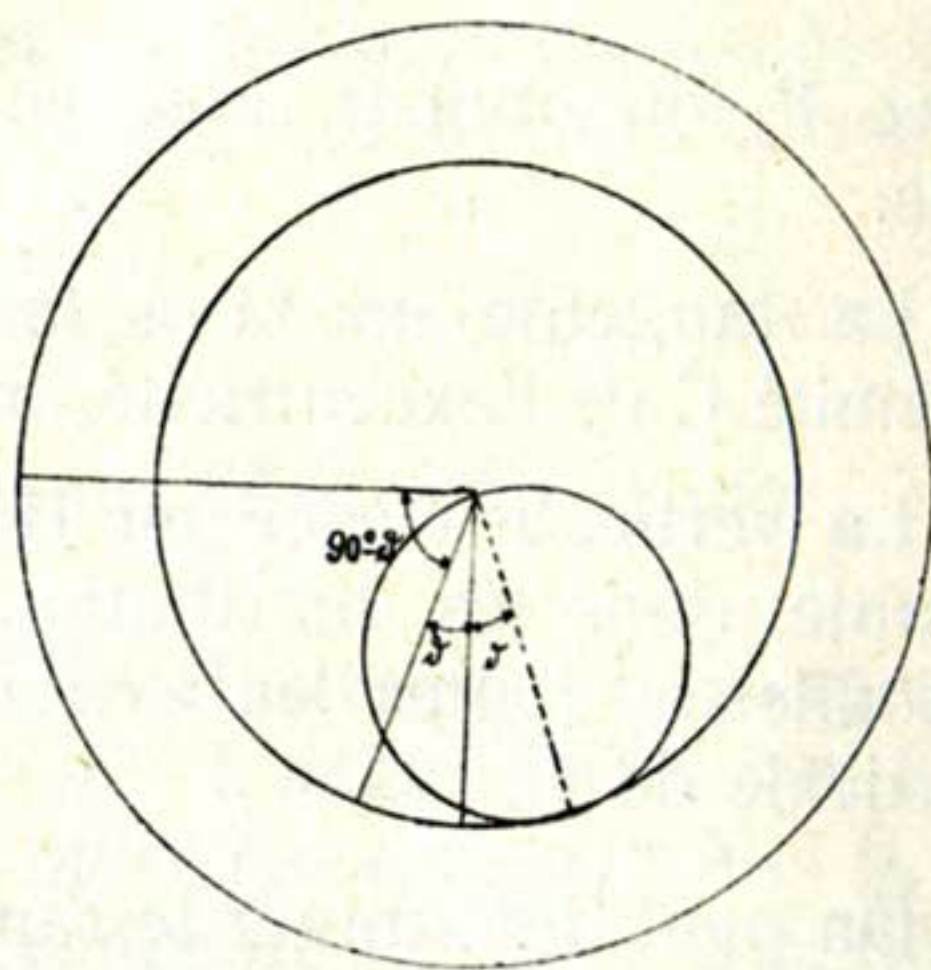


Fig. 20.

§ 6. — *Propriétés de l'épure de Zeuner.*

1° Si l'on joint AB (A fin d'admission, B avance à l'admission), on obtient une tangente en F à la circonférence tracée avec e comme rayon.

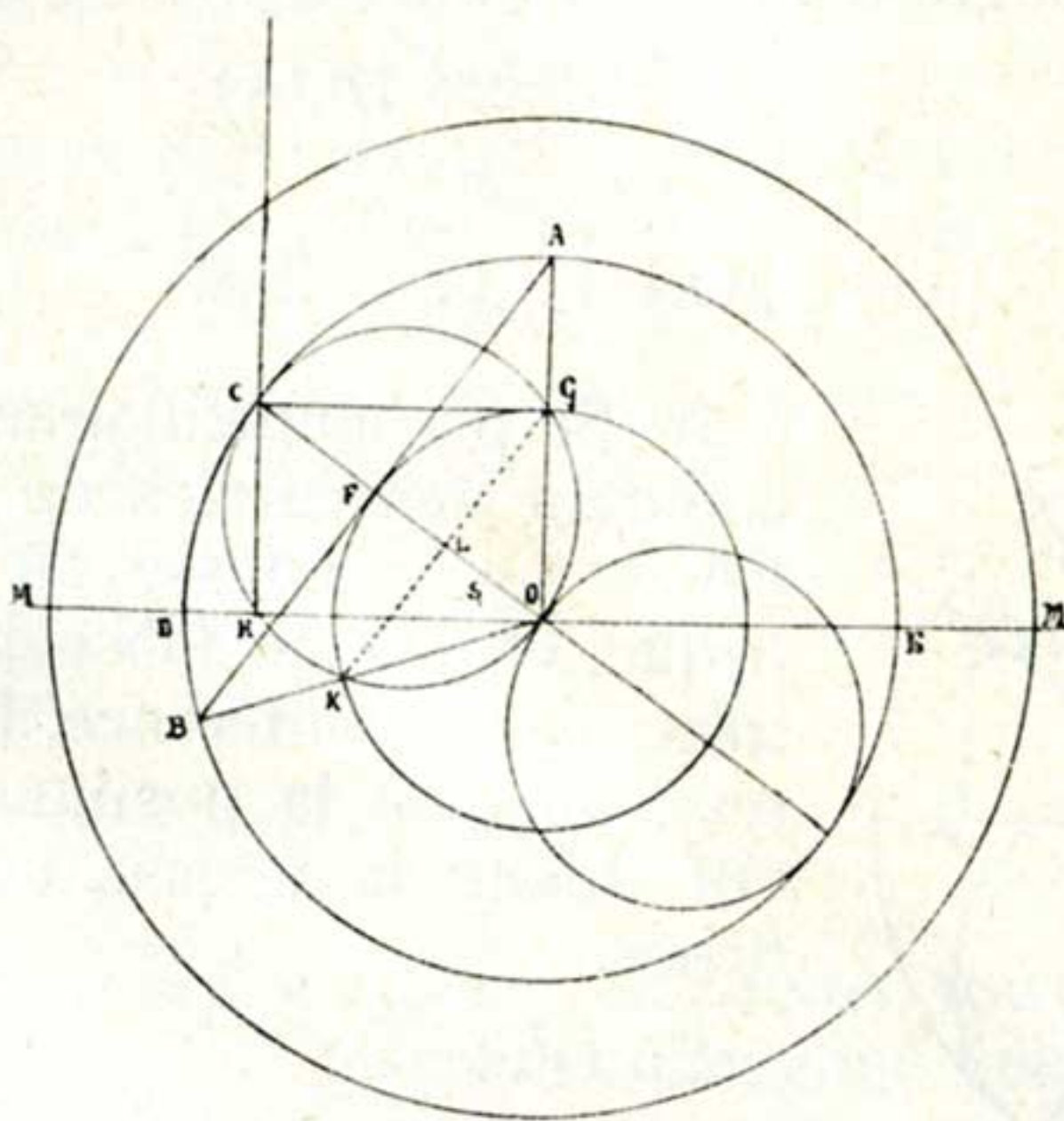


Fig. 21.

En effet, soit F l'intersection de AB avec l'excentricité OC.

$$\frac{OF}{OL} = \frac{OA}{OG} = \frac{e}{e} \text{ c'est-à-dire, } OF = \frac{e}{e} \times OL.$$

ou
$$OL = \frac{e^2}{e}.$$

D'où
$$OF = \frac{e}{e} \times \frac{e^2}{e} = e$$

Avec F, on obtient donc en même temps la valeur de l'angle de calage.

2° La tangente en G à la circonférence de rayon e passe par l'extrémité C de l'excentricité, puisque l'angle CGO = 90°.

3° La verticale élevée en H passe par C. Donc, en cas d'avance constante, dans les distributions à excentricité variable (distributions par coulisse), toutes les extrémités des excentricités se trouvent sur la verticale de H.

4° On peut déterminer le rapport $\frac{e}{e}$ en fonction de l'avance angulaire à l'admission et du degré d'admission.

En effet :

$$\frac{e}{e} = \frac{OA}{OF} = \frac{1}{\cos \frac{AOB}{2}} = \frac{1}{\cos \left(\frac{DOB + DOA}{2} \right)}$$

DOA résulte du degré d'admission a :

$$a = \frac{r (1 - \cos DOA)}{2r}$$

$$\cos DOA = 1 - 2a$$

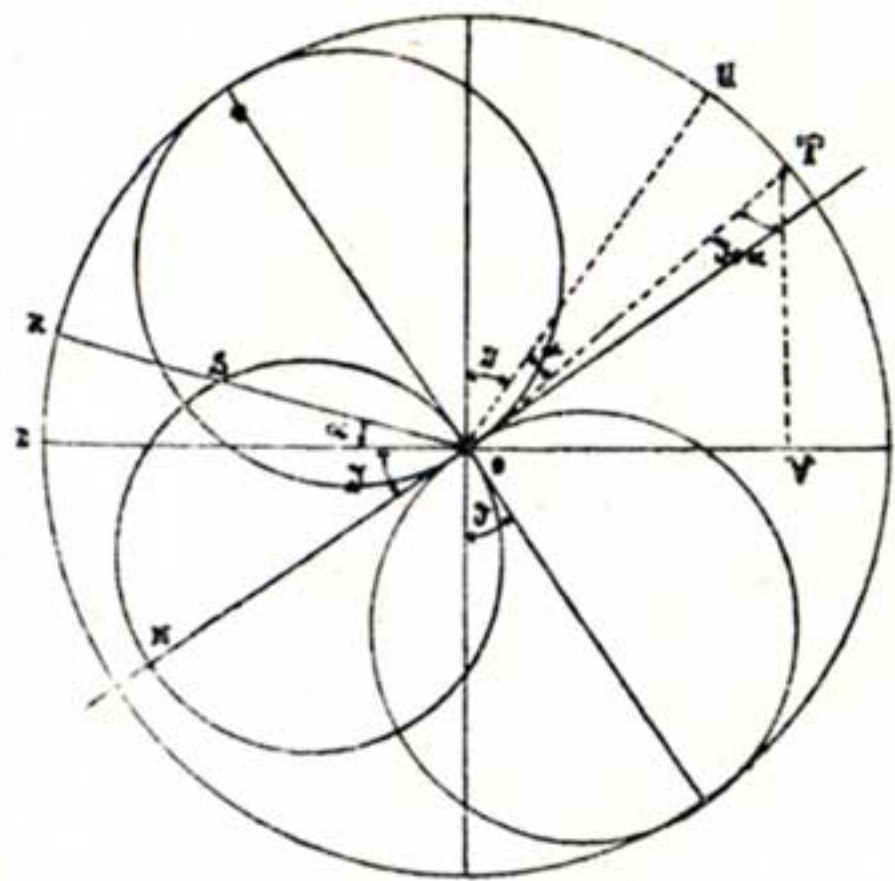


Fig. 22.

5° Si perpendiculairement au diamètre commun des cercles de Zeuner, on porte $ON = \omega e =$ vitesse du bouton d'excentrique, et que sur ON comme diamètre, on trace une circonférence, le vecteur OS correspondant à la position de la manivelle OR donne la vitesse correspondante du tiroir.

En effet :

$$\begin{aligned} OS &= ON \cos SON = \omega e \cos SON \\ &= \omega e \cos (a + \delta). \end{aligned}$$

Or, la position *réelle* de l'excentricité, lorsque la manivelle est en OR est OT et on sait qu'alors la vitesse du bouton d'excentrique est égale à $\omega \rho \cos OTV$ ou $\omega \rho \cos (\alpha + \delta) = OS$.

*
* *

L'épure de Zeuner ne précise pas suffisamment la position des phases : par suite de la grande proximité du centre et des intersections des arcs de cercle, la direction des droites qui unissent les points n'est pas bien assurée ; la plus petite déviation de ces droites fausse les diagrammes du travail de la vapeur.

La méthode de Bilgram permet de remédier à cet inconvénient.

§ 7. — *Méthode de Bilgram.* — Reprenons l'épure de Zeuner.

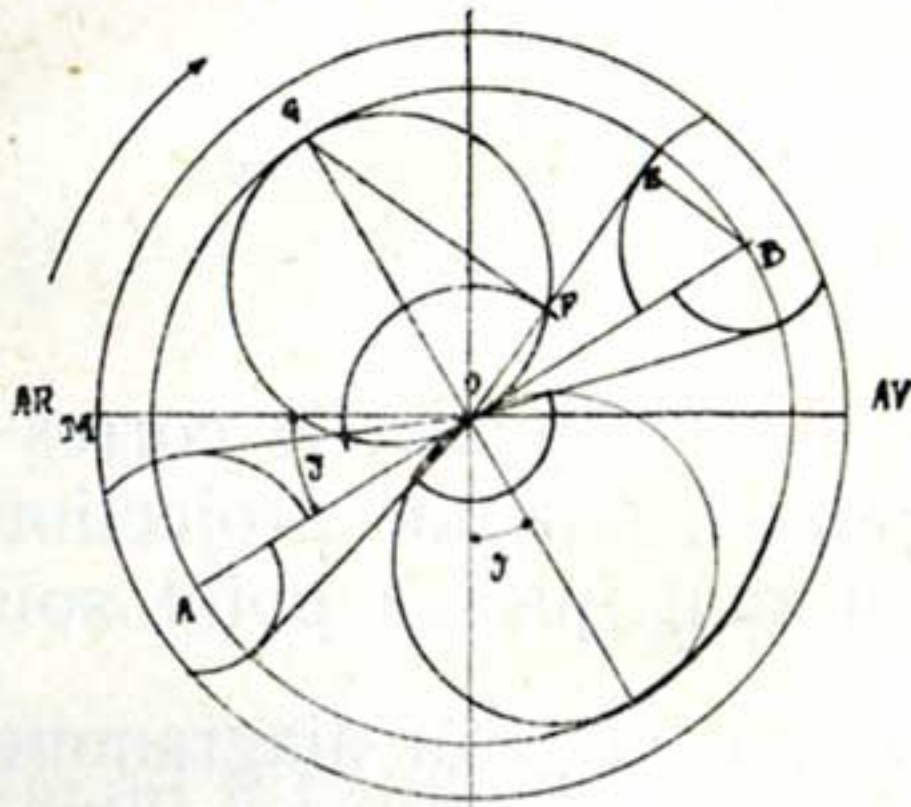


Fig. 23.

Traçons le diamètre AB perpendiculaire à OG. L'angle MOA est donc égal à δ , angle d'avance. De A et B, sur la circonférence de l'excentricité, décrivons des arcs de cercle de rayons e et i .

Du centre O, menons des tangentes OE, etc., à ces arcs de cercle.

Nous allons montrer que ces tangentes coïncident avec les rayons correspondant aux changements de phases.

En effet, les triangles rectangles GOF et OBE sont égaux : hypoténuse égale $OB = OG = \rho$ (excentricité) et côté $OF = BE = e$.

Les angles EOB et FGO sont donc égaux. Comme FOB et FGO sont aussi égaux, on a finalement $EOB = FOB$, c'est-à-dire que les 3 points O, F, E, sont en ligne droite. De là, le tracé suivant :

On mène perpendiculairement à OG le diamètre AOB de la circonférence de l'excentricité. Des points A et B comme centres, on décrit les circonférences de rayons e et i . De O, on leur mène des tangentes qu'on prolonge jusqu'à leur rencontre avec la circonférence du bouton de manivelle motrice.

*
* *

On remarquera que les 4 épures de Zeuner tracées ci-dessus sont identiques. C'était à prévoir puisqu'on a négligé l'obliquité des bielles.

On pourrait tenir compte de l'obliquité de la bielle motrice dans la confection des diagrammes, en traçant en M l'arc de cercle ayant comme rayon la longueur de cette bielle ainsi qu'il a été indiqué (fig. 3).

§ 8. — *Procédé de Brix.*

Un procédé plus simple et donnant des résultants suffisamment exacts est celui de Brix, qui consiste à déplacer le centre de l'excentricité en arrière du centre du cercle de la manivelle, d'une longueur $x = \frac{r^2}{2L}$. On obtient ainsi un diagramme bicentrique.

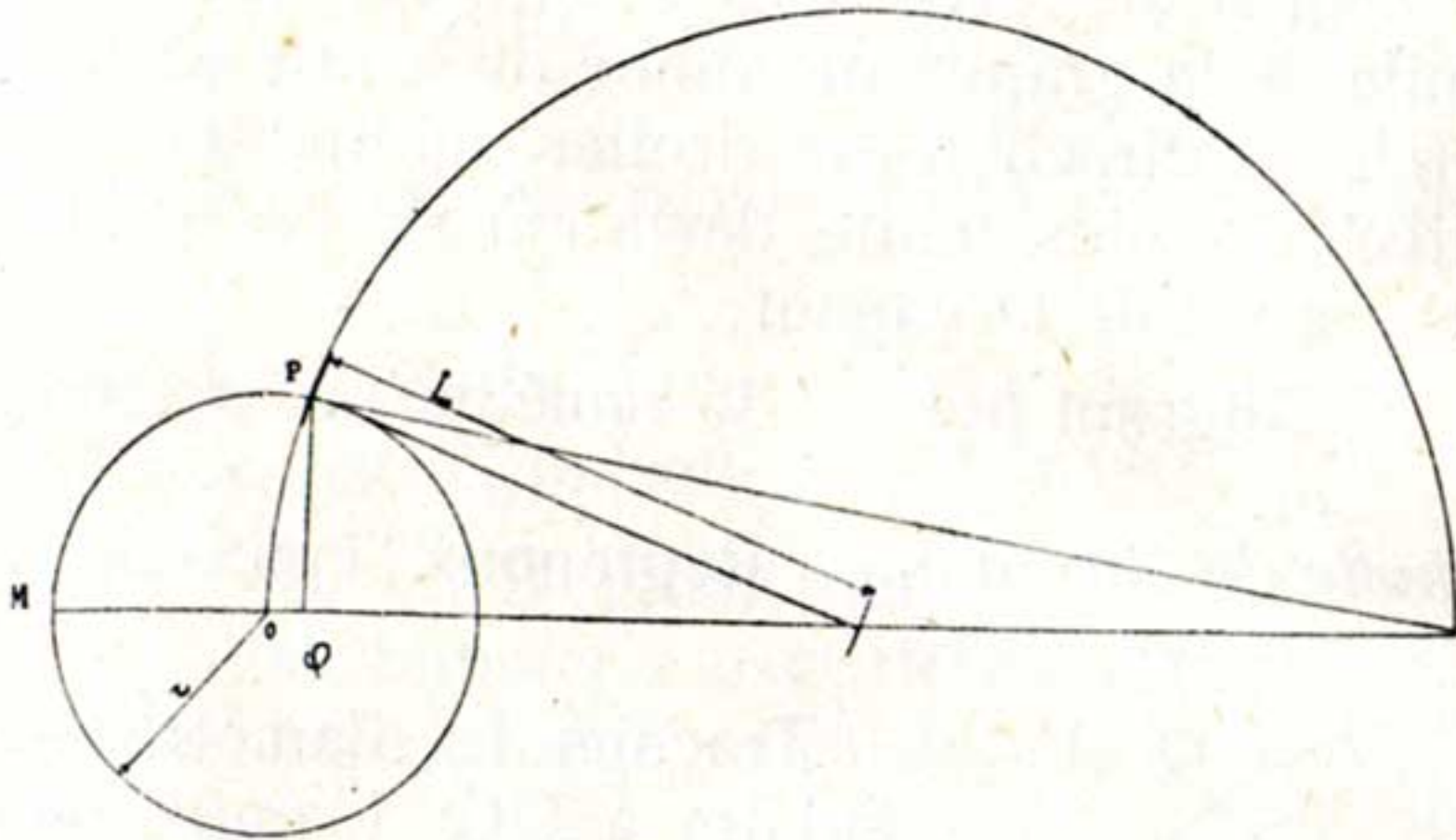


Fig. 24.

En effet : pour que l'emplacement du bouton de manivelle correspondant *au milieu* de la course du piston, puisse, par une projection orthogonale, donner la position du piston, il faut que ce point soit déplacé vers l'arrière de $OQ = \frac{r^2}{2L}$. Il suffit pour cela (voir diagramme Zeuner), de déplacer le centre d'excentricité vers l'arrière de cette même longueur $\frac{r^2}{2L}$ (fig. 24). Alors, quand la manivelle aura parcouru l'angle MOP, le point P se trouvera sur la verticale de Q.

Voyons quelle sera, pour les autres positions de la manivelle, l'erreur commise en procédant de cette façon.

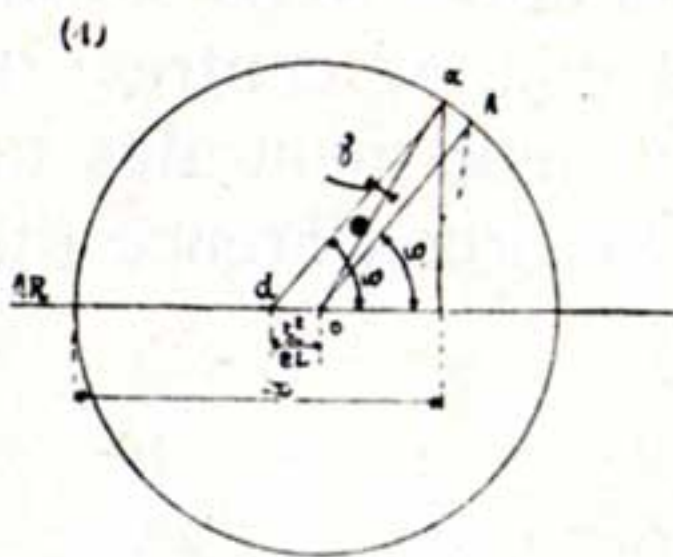


Fig. 25.

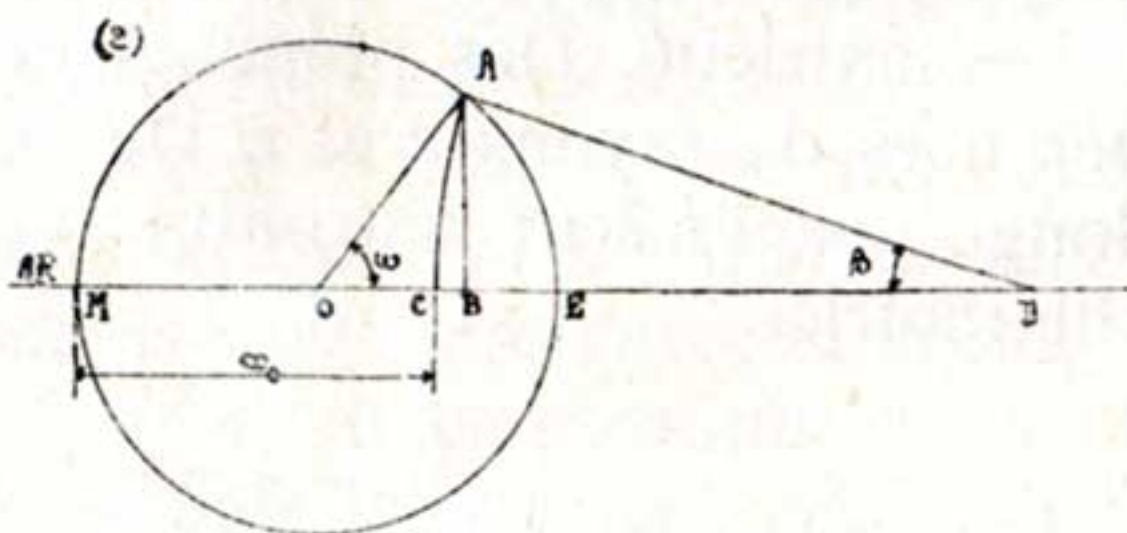


Fig. 26.

Le chemin parcouru obtenu par ce procédé (fig. 25) est : $x = r + r \cos (\omega + \gamma)$; sa valeur exacte est (fig. 26) $MC = MO + OB + BD - CD$ ou $x_0 = r + r \cos \omega + L \cos \beta - L$.

L'erreur commise est $x - x_0 = r [\cos (\omega + \gamma) - \cos \omega] + L (1 - \cos \beta)$.

On voit que cette erreur est nulle pour $\omega = 0^\circ$ et 180° car alors ω , γ et β sont nuls. Par construction, elle est aussi nulle pour les positions de la manivelle correspondant au milieu de la course du piston, c'est-à-dire pour ω égal à environ 90° et 270° .

Avec $\frac{L}{r} = 5$, on trouve que sa valeur maximum n'atteint que $x - x_0 = \pm 0,0019 r$; pour $r = 300 \text{ m/m}$, elle est de $1/2 \text{ m/m}$ environ, c'est-à-dire pratiquement négligeable.

La méthode de Brix s'applique aux épures de Zeuner et de Bilgram, qui prennent alors la disposition ci-après.

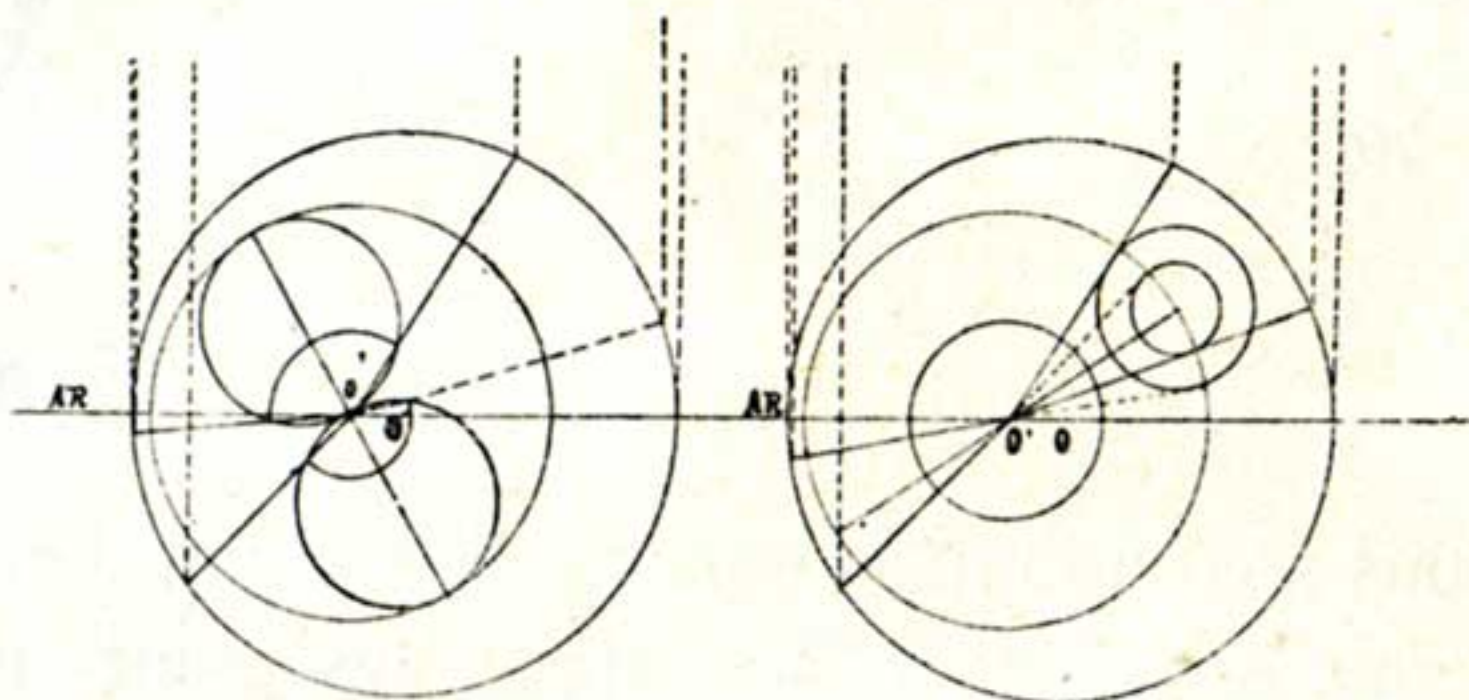


Fig. 27.

Fig. 28.

Quant à l'obliquité de la barre d'excentrique, ces épures ne peuvent en tenir compte. L'erreur commise est maximum lorsque le tiroir est aux environs de sa position moyenne (fig. 3) ; elle est alors de $\frac{e^2}{2l}$, e étant l'excentricité et l la longueur de la barre. Cette erreur est généralement de peu d'importance, car la barre d'excentrique a fréquemment une longueur bien supérieur à 5 fois l'excentricité.

§ 9. — Diagramme de Müller-Reuleaux.

Considérons d'abord des bielles et barres de longueur infinie.

Dans la figure 29 ci-contre, le piston a parcouru une distance Mm' à partir de son point mort AR ; le tiroir, une distance Oe' en avant de sa position moyenne idéale ; l'essieu est à la gauche du lecteur, les cylindres sont à sa droite ; les déplacements du piston et du tiroir se font de droite à gauche et de gauche à droite et se marquent sur la droite de direction OM qui est la ligne des points morts du piston et du tiroir.

Pour simplifier le tracé, on peut convenir de représenter la manivelle motrice et l'excentrique par le même rayon ; cela revient à décaler entre elles, de l'angle de calage, les lignes des points morts du piston

et du tiroir ; si, comme c'est le cas avec le tiroir simple, l'excentrique est calé en avant de la manivelle motrice, la ligne des points morts du tiroir viendra en arrière, par rapport au sens de la rotation de l'essieu, de la ligne des points morts du piston.

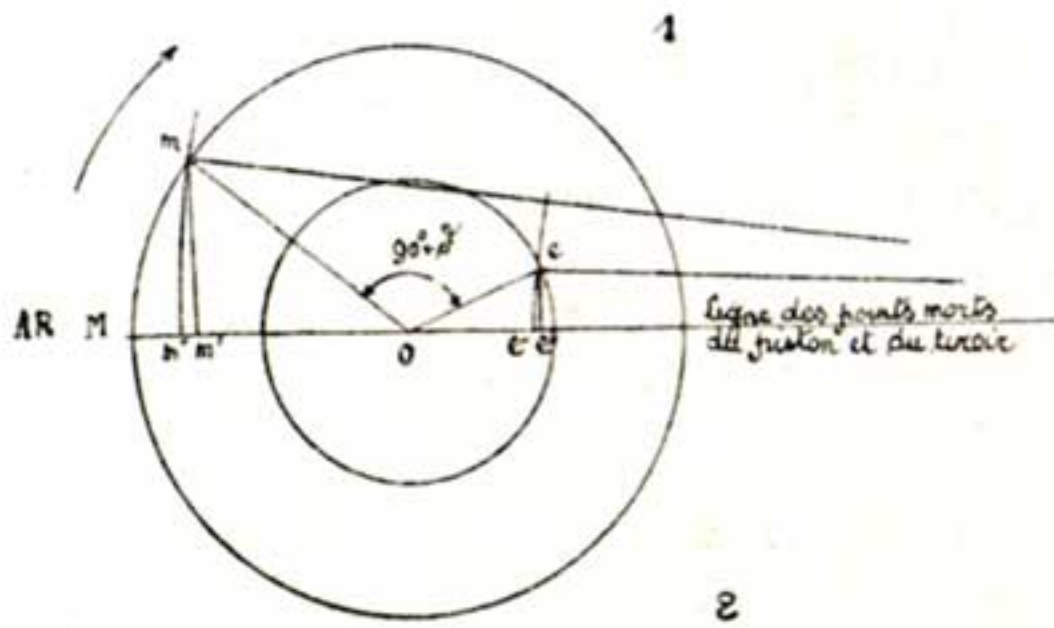


Fig. 29.

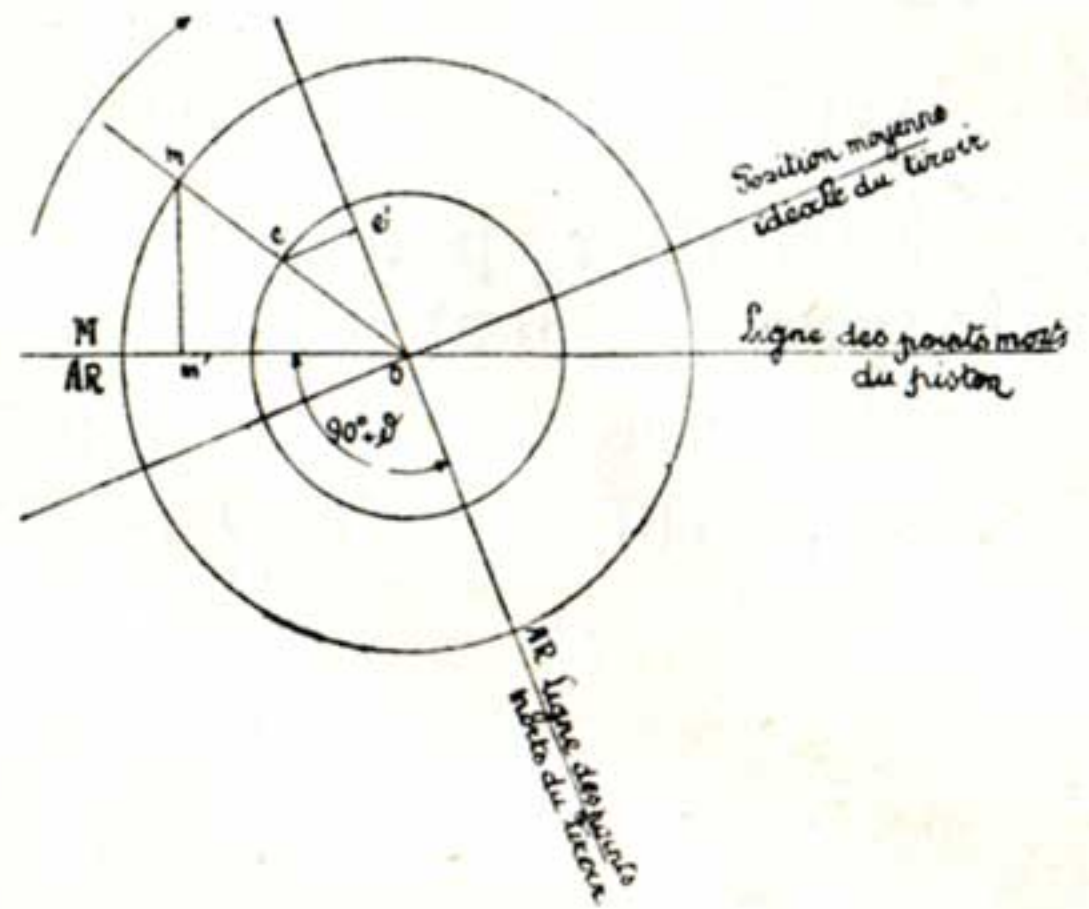


Fig. 30.

Deux solutions sont adoptées pour la disposition de l'épure.

Dans la première, on laisse à la ligne des points morts du piston son orientation normale, de gauche à droite ; la ligne des points morts du tiroir est reportée en arrière par rapport au sens de marche (fig. 30). La manivelle motrice étant en OM, le piston se trouve à la distance Mm' de son point mort AR et le tiroir en avant de sa position moyenne de la longueur Oe'. Cela étant, il suffit de tracer, parallèlement à la droite marquant la position moyenne du tiroir, des droites distantes de celle-ci respectivement, de e et de i pour obtenir l'épure de Müller-Reuleaux, très employée en Allemagne (fig. 31).

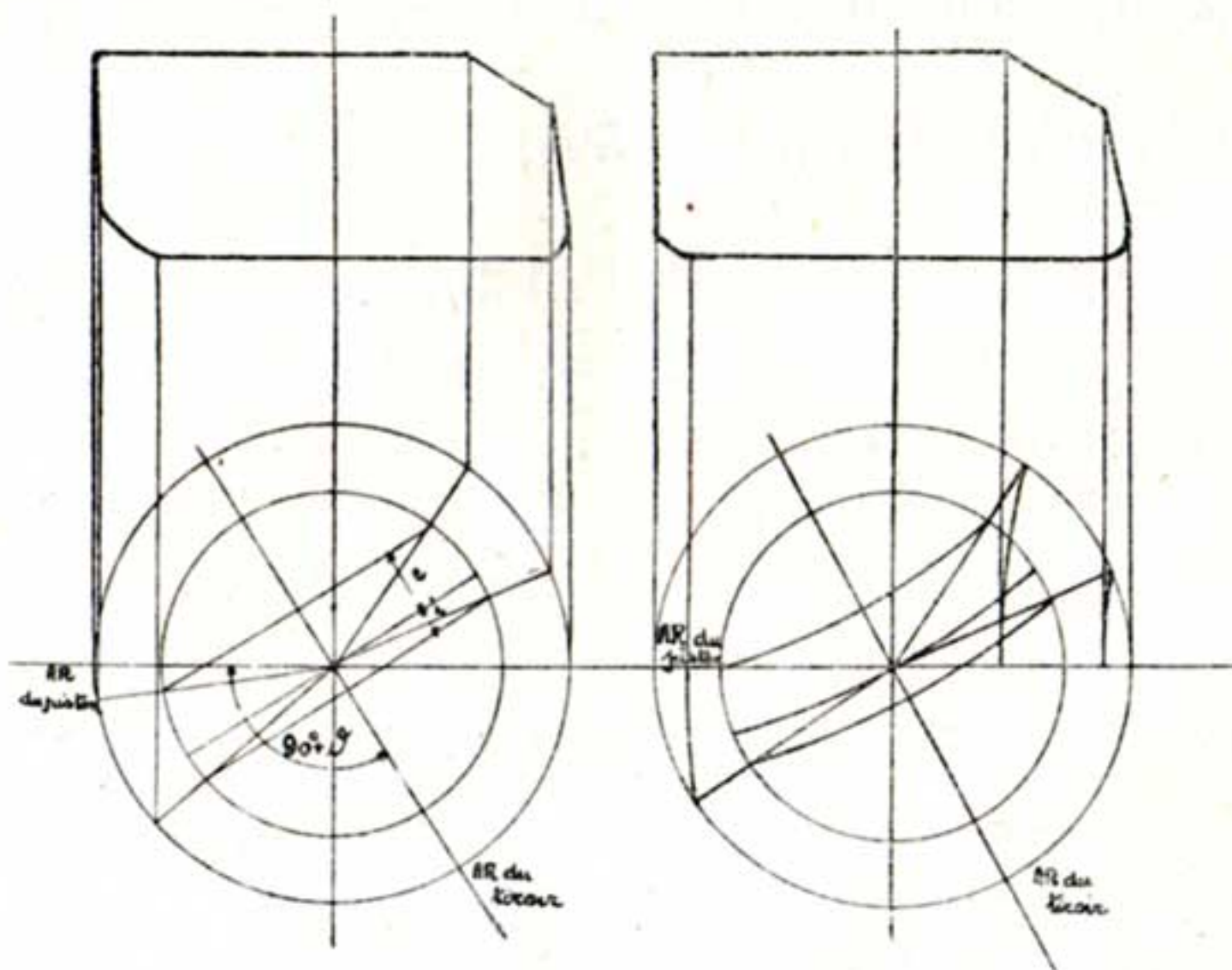


Fig. 31.

Fig. 32.

Pour avoir égard à l'obliquité de la bielle motrice et de la barre d'excentrique, il suffit de projeter les boutons de manivelle et d'excentrique, non plus orthogonalement, mais au moyen d'arcs de cercle de rayons convenables. On obtient ainsi la fig. 32. (Remarquer, en passant, dans l'épure, la suppression de l'avance à l'admission).

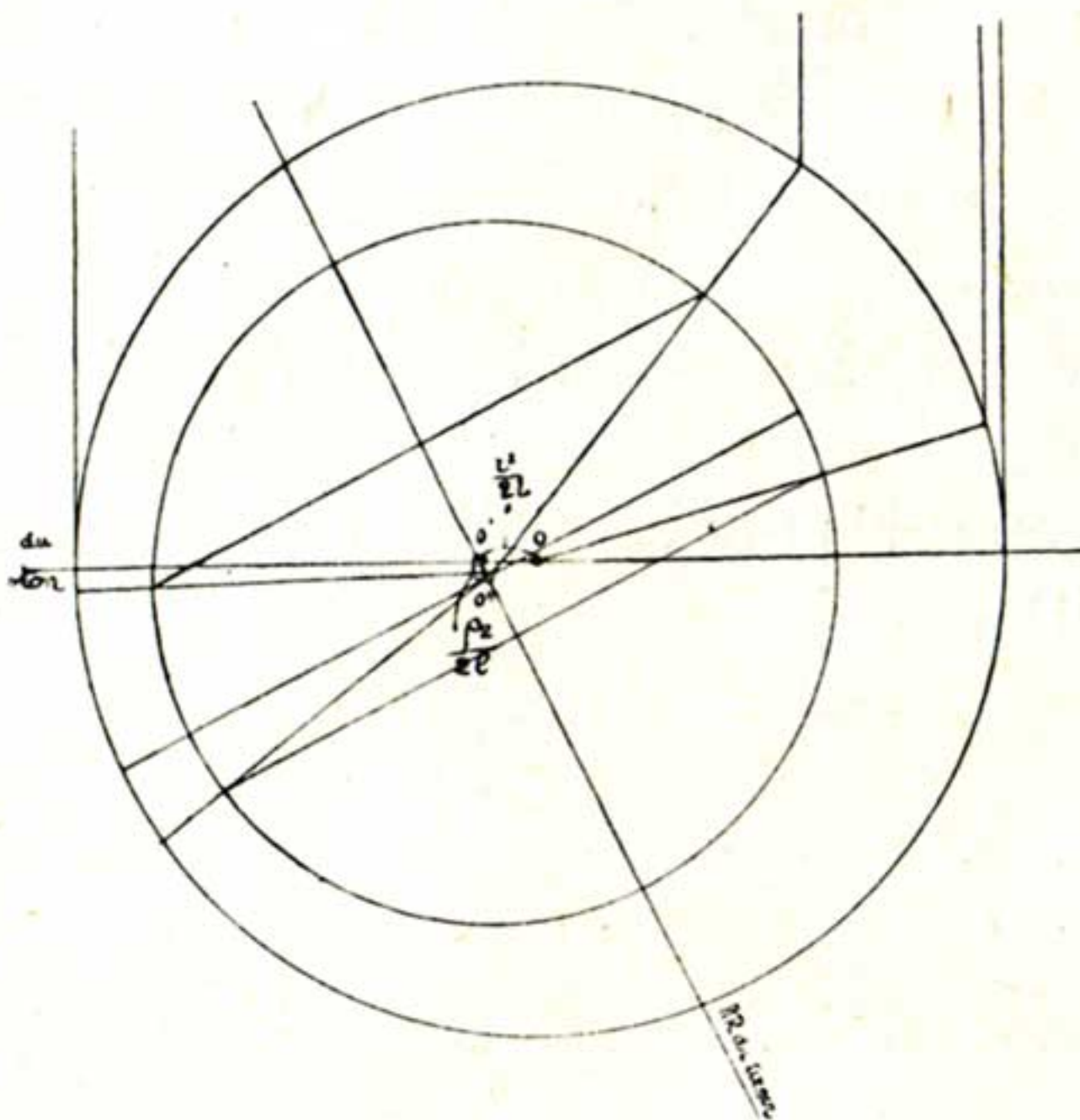


Fig. 33.

On peut, plus simplement, appliquer le procédé de Brix, *tant pour l'obliquité de la bielle motrice que de la barre d'excentrique.*

Les lignes de projection ne sont plus alors des courbes, mais des droites.

§ 10. — *Épure circulaire.*

Dans cette épure, c'est la ligne des points morts de l'excentrique qui garde son orientation normale de gauche à droite ; la ligne des points morts du piston est donc déplacée en avant de celle du tiroir par rapport au sens de la marche.

On peut, pour simplifier encore l'épure, adopter une seule circonférence comme trajectoire des boutons de manivelle motrice et d'excentrique, les longueurs relatives au mécanisme de la manivelle motrice étant ainsi à une échelle différente de celles du mécanisme de l'excentricité.

Sous cette forme, l'épure s'appelle épure circulaire ou épure de Reech.

Quand la manivelle est en OP , le piston se trouve à la distance MP'' de son point mort AR et le tiroir à la distance OP' en avant de sa position moyenne idéale.

On peut encore simplifier l'épure et éviter le tracé de tous les arcs de rabattement en décrivant un arc de cercle tangent en M, ayant comme rayon la longueur de bielle motrice et en O un second arc de cercle de rayon égal à la longueur de la barre d'excentrique. Il suffit alors de prendre les distances de P jusqu'à ces arcs, parallèlement aux lignes des points morts.

Le piston se trouve ainsi à la distance Pp'' de son point mort AR et le tiroir à la distance Pp' en avant de sa position moyenne idéale.

Ne pas oublier qu'on doit faire emploi de deux échelles différentes.

Il est avantageux de prendre 100 m/m comme diamètre de la circonférence. Les longueurs lues en m/m se comptent alors en centièmes de course.

De même que pour l'épure de Müller-Reuleaux, on peut faire emploi du procédé de Brix.

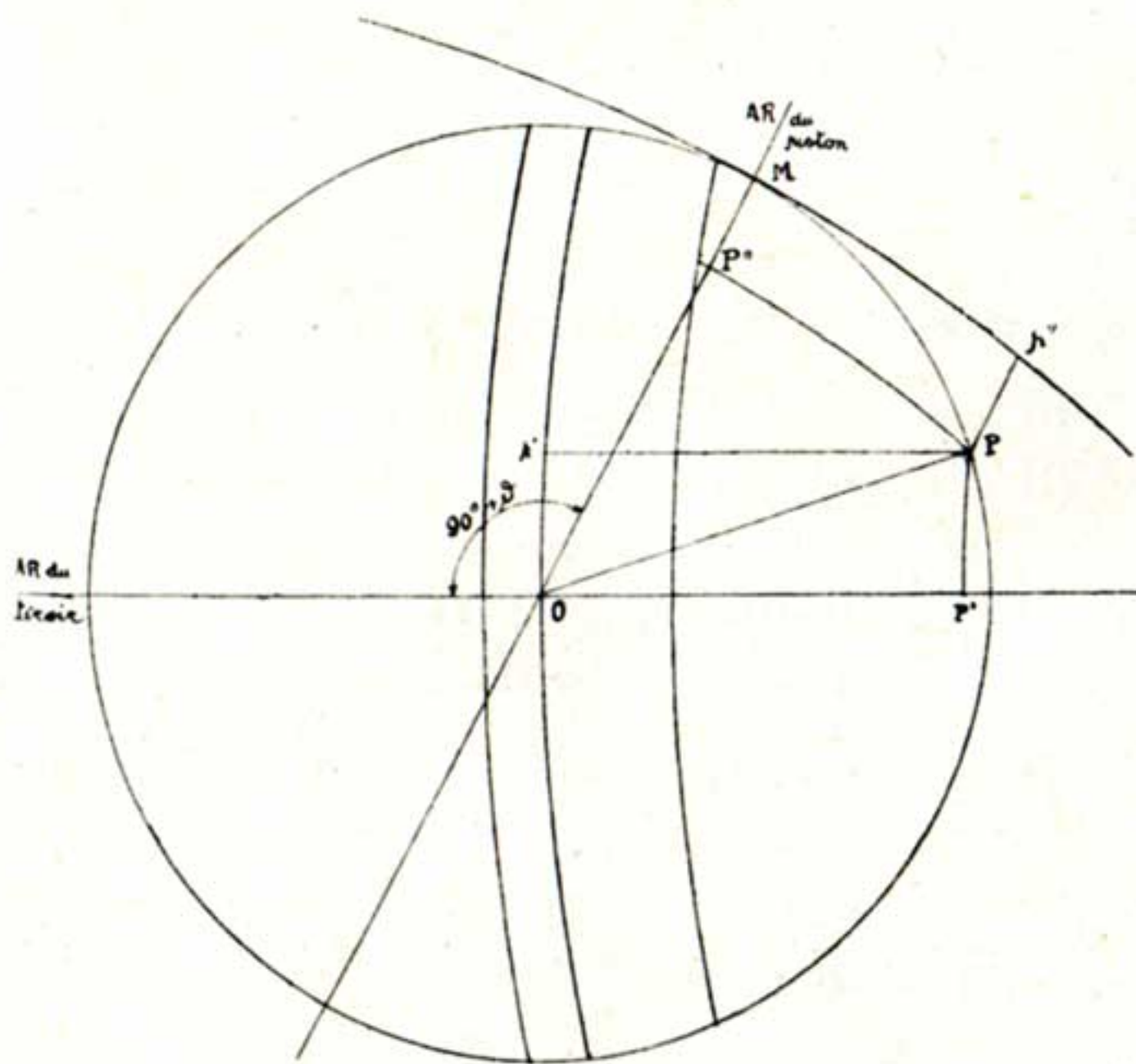


Fig. 34.

§ 11. — Epure elliptique.

La loi du mouvement du piston de même que celle du tiroir présentent peu d'intérêt en elles-mêmes ; ce qu'il importe de connaître, c'est le mouvement *relatif* du piston et du tiroir ; ce mouvement relatif apparaît plus clairement quand on porte en abscisses les déplacements du piston et en ordonnées ceux du tiroir ; l'épure est simplifiée par le fait qu'elle ne donne plus les positions correspondantes de l'arbre.

On porte les positions du tiroir, au-dessus ou au-dessous de l'axe des X, selon que cet organe se trouve en avant ou en arrière de sa position moyenne idéale.

On obtient ainsi l'épure elliptique ; en réalité, ce ne serait une ellipse que si les bielles étaient infinies ; c'est une courbe qui s'en rapproche et qu'on appelle spécialement « courbe en œuf » (fig. 36).

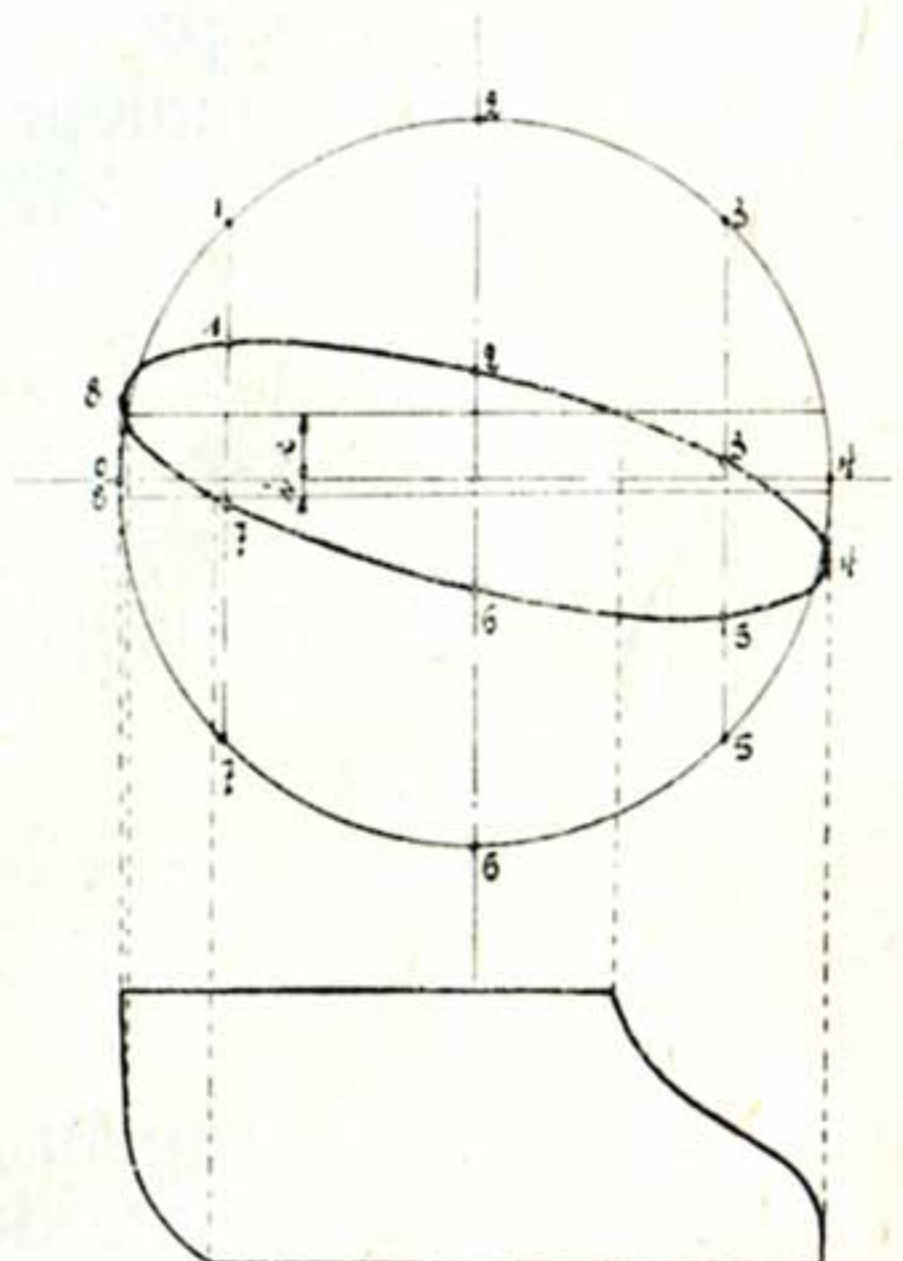


Fig. 35.

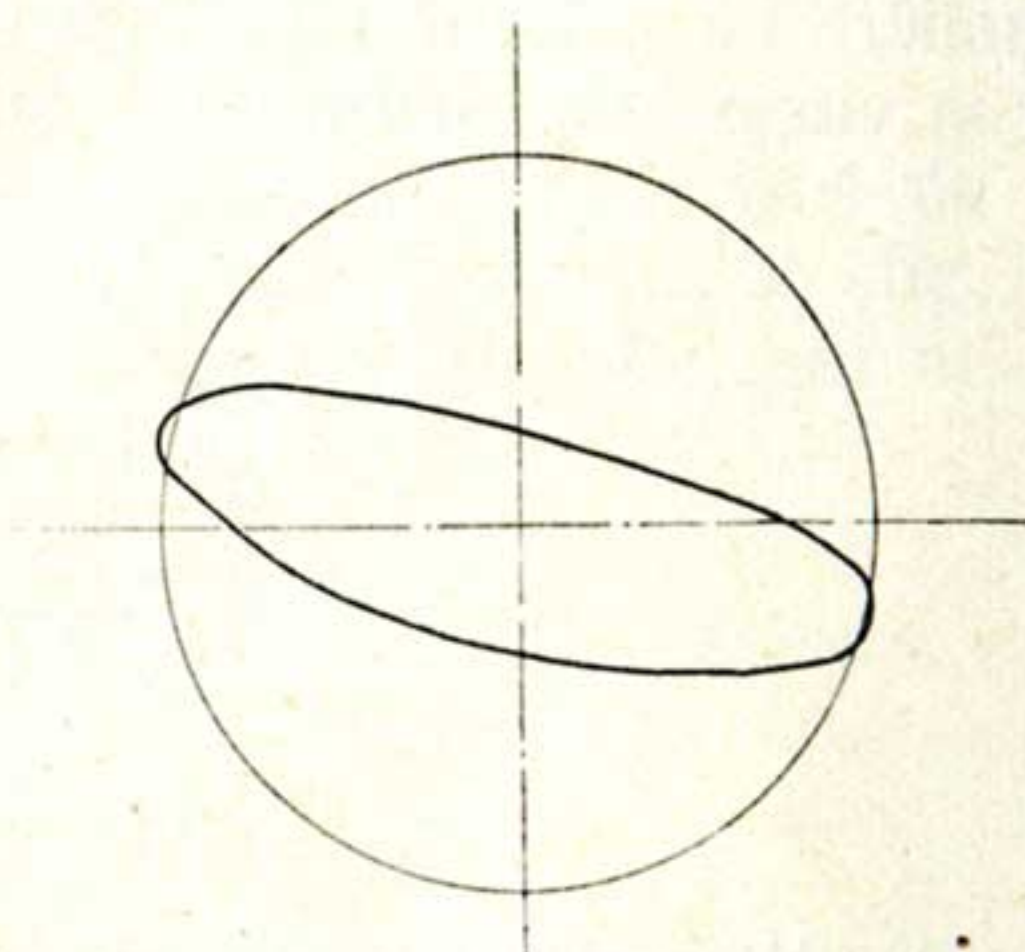


Fig. 36.

Cette épure a le même inconvénient que l'épure sinusoïdale : elle doit se construire par points. Elle ne convient pas non plus pour les avant-projets, mais elle est utilisée pour l'étude des distributions en fonctionnement, car elle est très parlante, elle donne clairement les ouvertures des lumières pour chaque position du piston et elle permet, en outre, de se rendre compte de l'importance du laminage de vapeur par les lumières se refermant avant la détente. (Voir ci-dessous).

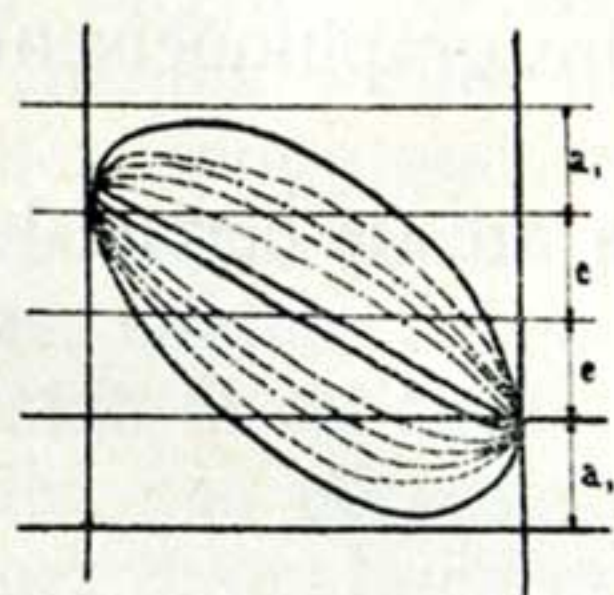


Fig. 37.

Elle convient spécialement pour les distributions à coulisse où une épure doit être tracée pour chaque degré d'admission. On obtient une épure d'ensemble plus simple qu'avec l'épure sinusoïdale (fig. 37).

Enfin, on l'utilise aussi dans la vérification des projets de distribution par coulisses quand on fait emploi des modèles en bois (fig. 119).

§ 12. — Laminage par les lumières se refermant avant détente.

Nous avons tracé précédemment le diagramme (fig. 5) des vitesses du piston rapportées aux déplacements angulaires de l'arbre. A l'aide du graphique précédent (fig. 35) ,on peut rapporter ces vitesses aux positions du piston ; on obtient ainsi le diagramme ci-dessous correspondant à la course de l'arrière vers l'avant.

Supposons qu'à chaque instant, l'ouverture de la lumière soit telle que la vitesse de la vapeur qui la parcourt reste constante, malgré les variations de vitesse du piston (nous admettons l'égalité à chaque instant des débits volumétriques des cylindres et des lumières). Il faudrait pour cela qu'à chaque instant, la section de passage soit proportionnelle à la vitesse du piston, ou encore, la hauteur de la lumière ne variant pas, que la largeur découverte de la lumière soit à la vitesse du piston dans un rapport constant.

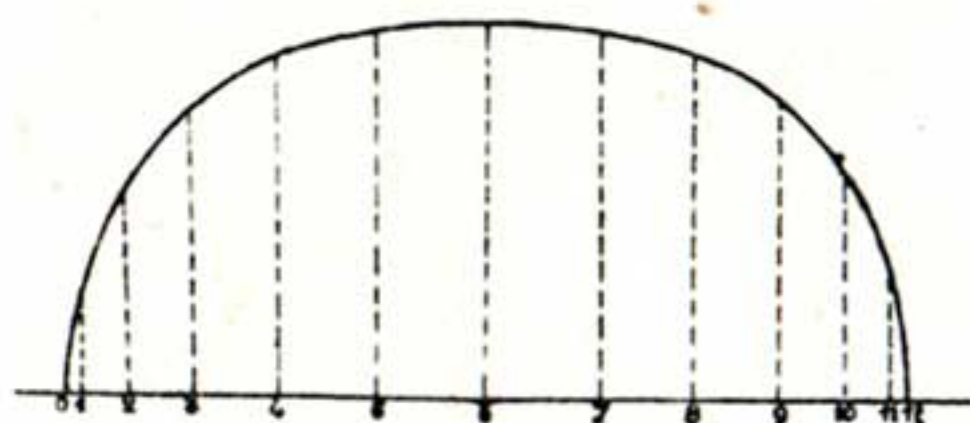


Fig. 38.

On détermine ce rapport, en se donnant la vitesse de vapeur admissible ; ce sera celle qui ne déterminera qu'une certaine chute de pression qu'on s'impose comme maximum (1/10 K par exemple).

A une vitesse de 50 m par seconde, corresp. une chute de pression d'env. 0,08 k.
id. 100 m. id. 0,32 k.
id. 150 m. id. 0,72 k.
id. 200 m. id. 1,30 k.

S étant la surface du piston, l la largeur découverte de la lumière, h la hauteur de celle-ci, on aura $l \times h \times v \text{ maximum} = S \times V$ ($V =$ vitesse du piston) ou $\frac{l}{V} = \frac{S}{h \times v \text{ maximum}}$

La recherche des diverses valeurs de l peut se faire graphiquement comme suit :

Sur le diagramme des vitesse du piston, tracer un arc de cercle de rayon $\frac{S}{h}$

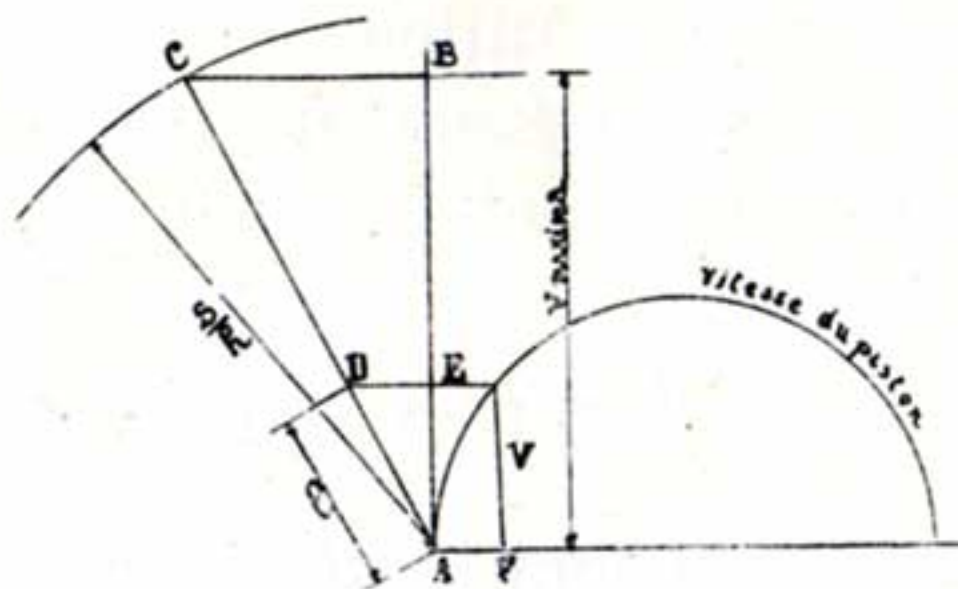


Fig. 40.

Porter sur la verticale en A, $AB = v \text{ maximum}$. Elever BC perpendiculaire sur AB. Joindre CA.

Pour une position F du piston, mener DE parallèle à CB.

On obtiendra $AD = l$. En effet, $\frac{AD}{AC} = \frac{AE}{AB}$ ou $AD = \frac{S}{h} \times \frac{V}{v \text{ maximum}} = l$.

On peut donc tracer la courbe dont les ordonnées représenteront, pour chaque position du piston, la largeur de lumière nécessaire ; quand cette largeur ne sera pas atteinte, il existera une chute de pression par laminage.

Cette courbe peut se reporter sur l'épure elliptique (au-dessus du trait correspondant à l'ouverture de la lumière) ; on voit aussitôt (fig. 41) qu'à partir de A, il se produit du laminage. La détente, qui ne devrait commencer qu'en C sera ainsi avancée en B.

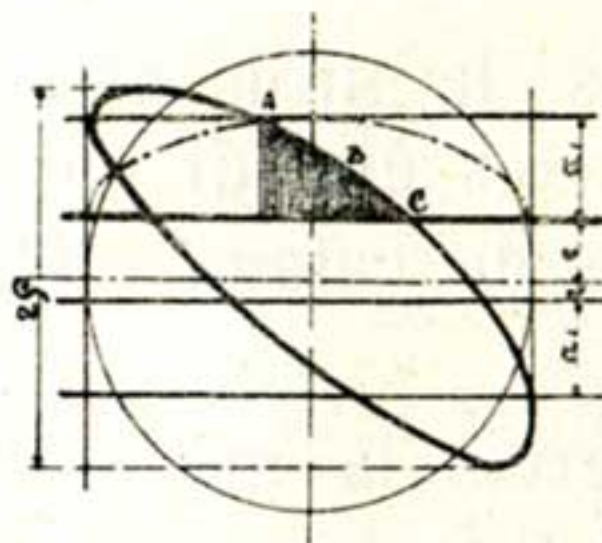


Fig. 41.

On peut, à l'aide de cette épure, expliquer les courbes de passage entre admission et détente, qu'on obtient aux diagrammes d'indicateur et fixer avec précision la détente effective.

*
* *

Dans les avant-projets, on se sert, en général, des épures de Zeuner, de Bilgram et de l'épure circulaire. Toutes ces épures se tracent facilement : elles ne comportent que des droites et des arcs de cercle. Elles sont donc construites très rapidement ; c'est ce qui fait leur supériorité sur les épures sinusoïdale et elliptique. Mais elles n'offrent pas, comme celles-ci, une vue d'ensemble des positions relatives du piston et du tiroir. Toutefois dans bien des cas, cette vue d'ensemble n'est pas nécessaire ; si on le juge utile, on peut d'ailleurs reprendre leurs indications et en construire, par exemple, l'épure elliptique.

L'épure circulaire tient compte de l'obliquité de la bielle motrice et de la barre d'excentrique. C'est la seule, des trois épures indiquées plus haut, qui donne des indications absolument exactes.

L'épure de Zeuner ne tient pas compte de l'obliquité de la barre d'excentrique ni de la bielle motrice ; toutefois, une correction permet d'avoir égard à la dernière obliquité. Elle a comme inconvénient la difficulté de préciser la position des phases de la distribution ; on peut, pour y remédier, faire emploi de la méthode de Bilgram.

§ 13. — *Modifications apportées à la distribution dans certains cas spéciaux.*

1. — *La direction du mouvement du tiroir (d.m.t.) n'est pas parallèle à celle du mouvement du piston (d.m.p.).*

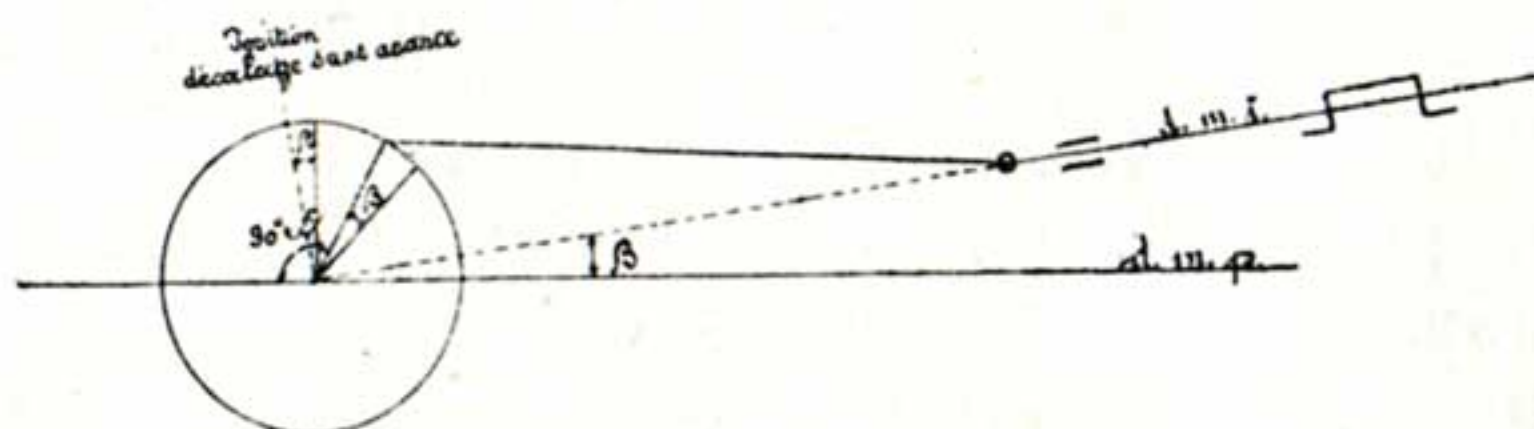


Fig. 42.

Dans la figure ci-dessus, le tiroir atteint plus vite ses positions extrêmes que si les deux axes étaient parallèles c'est-à-dire qu'il se comporte comme si l'angle de calage réel était augmenté de β , les axes restant parallèles.

Il faut donc, pour conserver la même distribution, adopter pour l'épure un calage de $90^\circ + \delta + \beta$.

On arriverait à la même conclusion en observant que le calage sans avance ne serait pas de 90° , mais de $90^\circ - \beta$.

Si l'inclinaison était dirigée vers le bas, l'angle de calage réel devrait au contraire être réduit pour la confection de l'épure.

2. — *La direction du mouvement du tiroir (d.m.t.) ne passe pas par l'axe de l'essieu.*

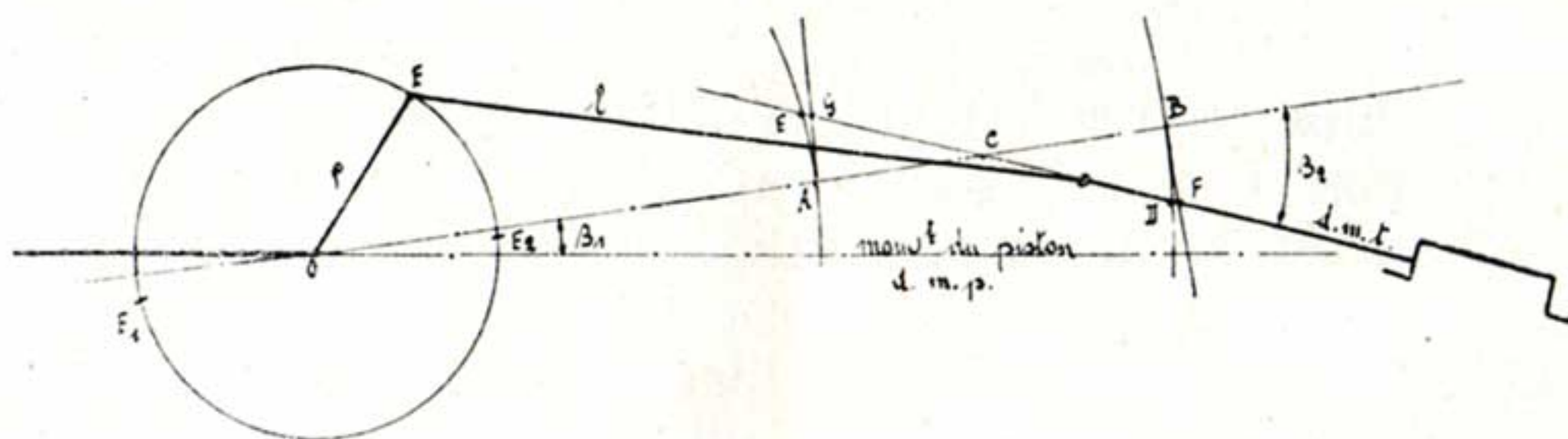


Fig. 43.

Les positions extrêmes de la crossette sont obtenues en décrivant, de O comme centre, des arcs de cercle de rayons $(l + \rho)$ et $(l - \rho)$ qui coupent en D et E la direction du mouvement du tiroir ; sa position moyenne est en C, milieu de DE.

Les points morts du bouton d'excentrique sont en E_1 et E_2 , approximativement sur la direction O C ; c'est dire que l'angle de calage est le même, à peu de chose près, que si la direction du mouvement du

tiroir était $O C$; il faut donc, dans l'épure, adopter un angle de calage égal à l'angle réel augmenté de β_1 . Quant à l'excentricité à admettre dans l'épure, elle est la moitié de la course du tiroir, c'est-à-dire $\frac{D E}{2}$; menant les tangentes en A et B , on voit que les longueurs $D E$ et $E G$ sont très approximativement les mêmes ; on peut donc prendre pour l'excentricité $\frac{E G}{2} = \frac{A B}{2 \cos \beta_2} = \frac{2 e}{2 \cos \beta_2} = \frac{e}{\cos \beta_2}$.

3. — *Le mouvement de l'excentrique est transmis au tiroir par un bras oscillant.*

Le tiroir se meut comme s'il était commandé par un excentrique $O E'$ tel que

$$\frac{O E'}{O E} = \frac{A C}{A B}$$

C'est cette excentricité $O E'$ qu'il faudrait adopter pour le tracé de l'épure.

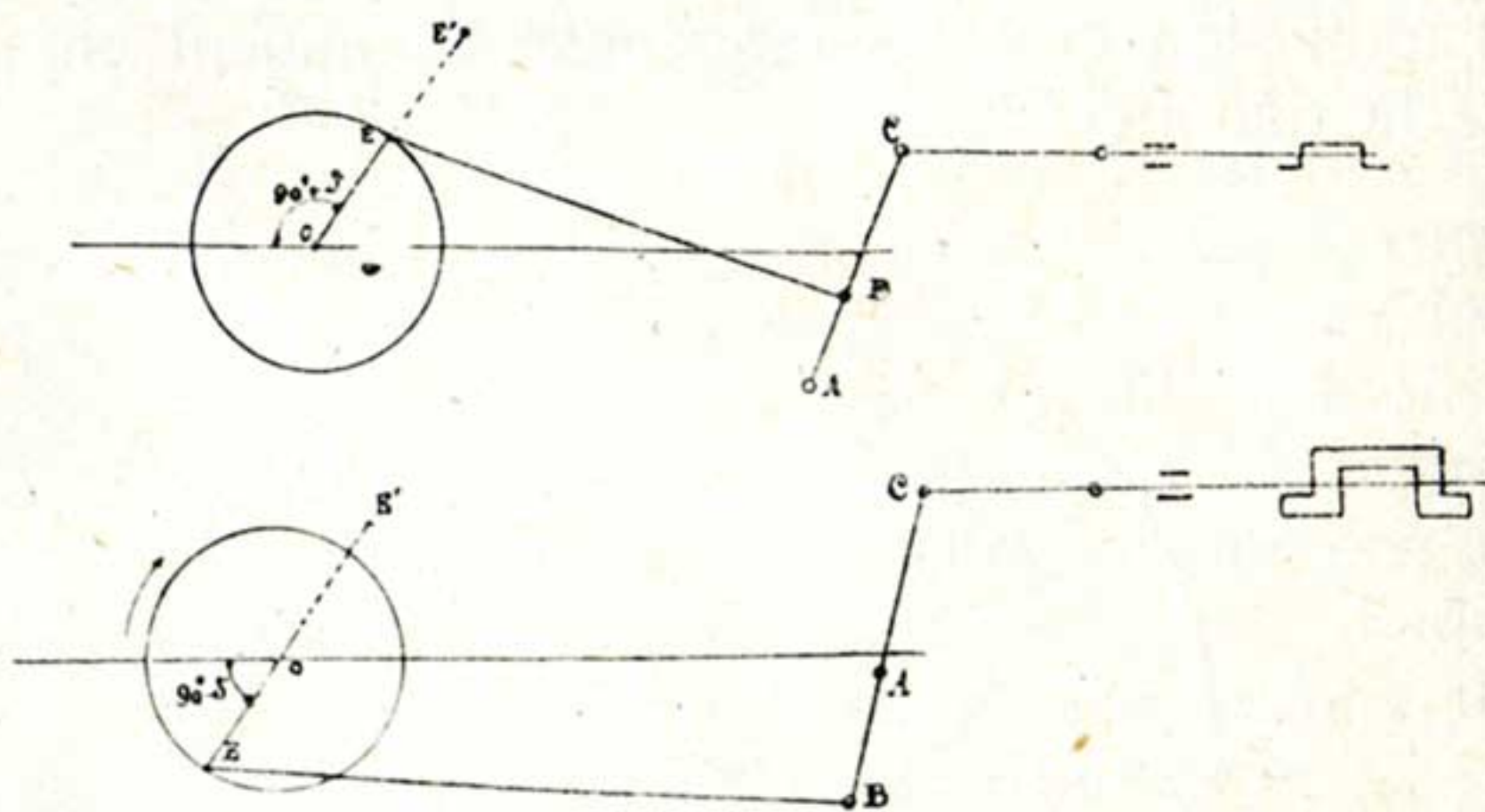


Fig. 44 et 45.

4. — *Le centre d'oscillation du renvoi se trouve entre les deux articulations.*

Le mouvement est alors renversé. Pour le redresser, il faut porter l'angle de calage en arrière de la manivelle par rapport au sens de marche, à 180° par rapport au calage normal.

Le tiroir se meut alors comme si l'excentricité était de $O E' = O E \times \frac{A C}{A B}$.

Si A est au milieu de BC , on a $O E' = O E$.

5. — *Tiroir à admission intérieure (distributeurs cylindriques).*



Fig. 46.

La marche du tiroir doit être renversée. On doit donc aussi adopter un calage, en arrière, de $90^\circ - \delta$; dans la position indiquée, c'est vers la gauche que doit se déplacer le tiroir.

§ 14. — *Caractères généraux de la distribution par tiroir simple à recouvrements.*

L'épure de Zeuner ci-contre nous donne un degré d'admission $\frac{MA}{MM'}$ trop fort pour une marche normale. On peut le réduire en modifiant les éléments de la distribution :

1° En diminuant l'excentricité. La compression augmente et les avances à l'admission et à l'échappement diminuent en même temps qu'augmente la détente.

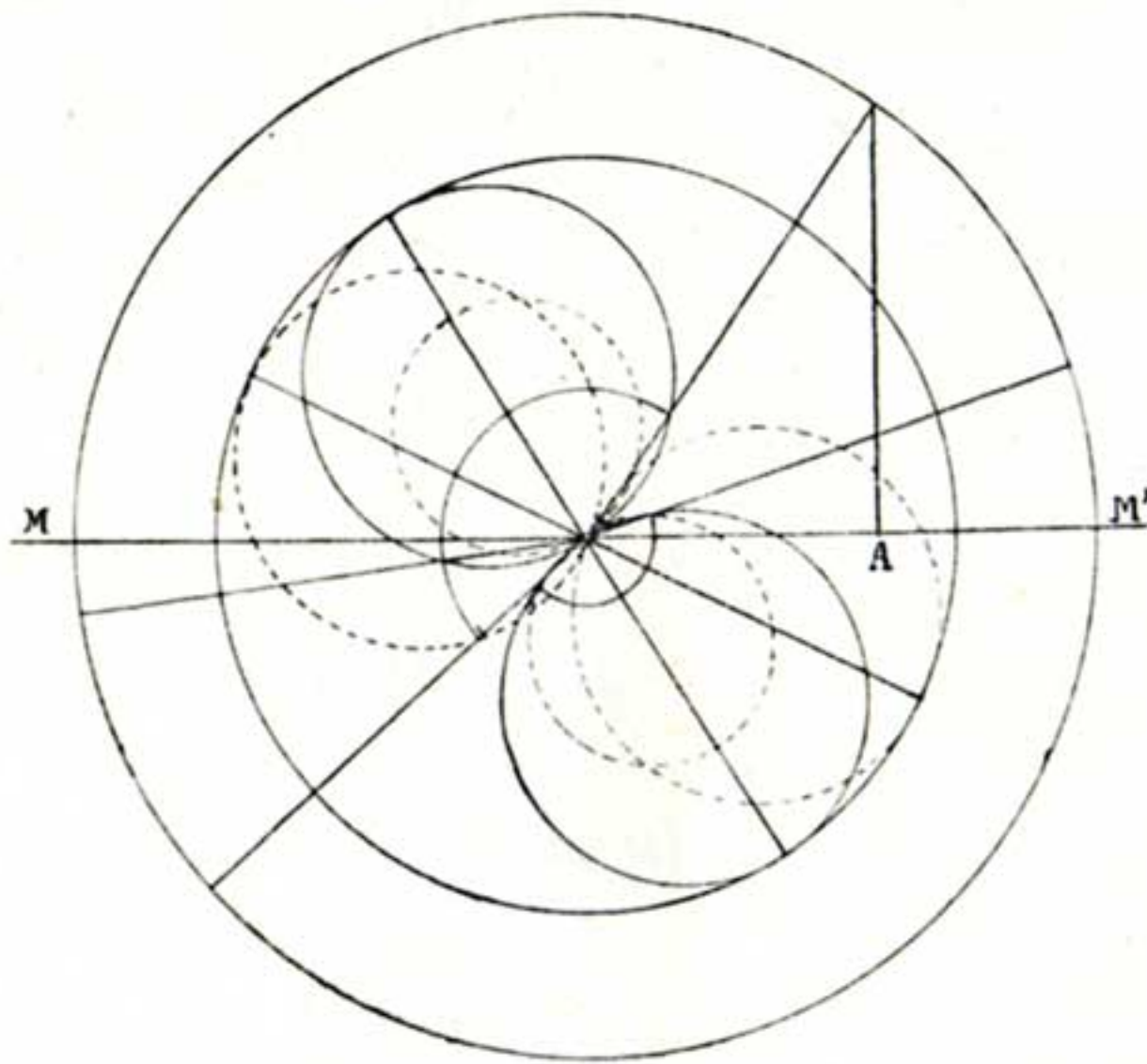


Fig. 47.

On se trouve donc très limité par ce moyen car les avances et la compression doivent présenter des valeurs convenables, ni trop grandes, ni trop petites.

2° En augmentant l'angle de calage. On augmente alors les avances dans des proportions inadmissibles.

3° Si, en même temps, qu'on diminue l'excentricité, on augmente l'angle de calage, l'action sur les avances, dans un sens ou dans l'autre, est amoindrie.

4° En augmentant le recouvrement extérieur. On diminue en même temps l'avance à l'admission.

En résumé, on voit que par ces quatre moyens on ne peut faire agir la vapeur avec détente prolongée sans modifier les avances et la compression. Celles-ci prennent des valeurs inadmissibles si l'on veut obtenir une introduction très petite. Pour réaliser de bonnes conditions de fonctionnement avec une machine ordinaire, il faudrait que le tiroir simple ne dût pas fournir une admission plus petite que $\frac{60}{100}$ de la course du piston. Une telle admission n'étant pas économique, on passe outre et on travaille quand même à faible admission, acceptant une perte de travail au diagramme ; ou bien, dans les machines fixes, on fait emploi des tiroirs combinés (Meyer, Rider, etc.), des valves Corliss ou des soupapes.

On verra, dans les chapitres suivants, que l'utilisation des coulisses dans la transmission des mouvements au tiroir permet de modifier l'angle de calage en même temps que l'excentricité, elle permet donc de travailler à faibles admissions ; mais on ne doit pas oublier que la distribution se faisant très généralement par tiroir simple, la machine locomotive reste moins économique que les machines à vapeur fixes. C'est ce qui justifie les tentatives faites pour adopter aux locomotives les progrès apportés aux machines fixes : 1) distributions à tiroirs superposés ; 2) distributions à valves oscillantes ; 3) distributions à soupapes Lentz. Ces trois systèmes remédient au premier défaut des tiroirs simples, à savoir la dépendance entre le degré d'admission et la compression ; les deux derniers réduisent son second défaut : la lenteur de l'ouverture et de la fermeture des lumières.

C. - Distributions à tiroirs combinés.

§ 15. — Dès 1844, des essais furent tentés d'appliquer ces distributions aux locomotives.

Citons les procédés Borsig, Baldwin, Strong, Bonnefond.

Elles furent abandonnées du fait de leur complication.

Plus récemment de nouvelles tentatives furent faites par Haberkorn (1905) et par Nadal (1905).

Dans la distribution Haberkorn, chaque cylindre comporte deux distributeurs cylindriques superposés. Celui qui est contigu au cylindre est le tiroir de distribution, l'autre sert à l'expansion. La commande se fait par une distribution Gooch à double coulisse. Deux leviers sont

utilisés pour le changement de marche, un pour chaque tiroir. Cette nécessité de deux leviers est déjà suffisante pour expliquer que l'adoption du système n'ait pas eu lieu.

La distribution Nadal a aussi pour chaque cylindre deux tiroirs adjacents : le tiroir d'expansion est commandé par une distribution Walschaerts ; le tiroir de distribution reçoit son mouvement, à l'aide d'un arbre intermédiaire, de la bielle de commande de tiroir et n'est pas influencé par le mouvement de la crosse.

L'avantage attribué à cette distribution est que, pour toutes les admissions, l'avance à l'échappement et la compression sont à peu près invariables.

A la locomotive exposée à Liège en 1905, l'avance linéaire à l'échappement était de 9 % de la course du piston à toutes les admissions ; la compression était :

pour 32 % d'admission au cylindre HP,	10 % de la course du piston.
pour 73 %	» » 11,75 % » »

Cette invariabilité semble plutôt être un inconvénient car, aux grandes vitesses (faibles admissions), l'avance à l'échappement et la compression doivent être augmentées, la première, pour abaisser la contrepression et la dernière pour obtenir une marche sans choc aux points morts.

On voit qu'il y a d'autres éléments que la surface d'un diagramme pour juger de l'excellence d'une distribution dans une locomotive.

D. - Distributions genre Corliss.

(Valves oscillantes)

§ 16. — La distribution Durant et Lencauchez employée à la Compagnie du P.-O. avait quatre valves à chaque cylindre. L'admission et l'échappement de vapeur avaient lieu par des canaux différents ; la compression était rendue indépendante de l'admission. La commande se faisait par coulisse Stephenson. La Compagnie précitée y trouva une économie de vapeur, mais les frais de construction et d'entretien étaient élevés.

D'autres essais ont été tentés aux Etats-Unis, par le système Young ; celui-ci ne comporte que deux valves par cylindre, l'admission et l'échappement se faisant par le même canal.

Un des avantages qu'on attribue aux machines à vapeur à valves oscillantes est une réduction de l'espace nuisible. Or, il est des cas où, contrairement à la lettre, un grand espace nuisible est utile, c'est quand une locomotive marche à grande vitesse (faibles détente), la

machine roule plus librement ; un grand espace nuisible est surtout avantageux quand les condensations ne sont pas à craindre (vapeur surchauffée).

E. - Distributions par soupapes.

§ 17. — Ces distributions ont pour avantages d'abord qu'elles sont facilement réglables ; elles conviennent donc pour les machines fixes tournant à une vitesse à peu près constante.

Leur second avantage sur les tiroirs est l'ouverture et la fermeture rapides des distributeurs, ce qui évite les laminages et les chutes de pression correspondantes.

Enfin, dernier avantage, les compressions et échappements sont indépendants des admissions.

Dans le système Lentz (1905), chaque cylindre a 4 soupapes (2 pour l'échappement et 2 pour l'admission) dont la levée est commandée par des cames fixées à une tige commune ; celle-ci reçoit son mouvement (exactement comme une tige de tiroir) d'un mécanisme Walschaerts.

Ce mode de distribution se comporte bien aux locomotives sur lesquelles il est monté.

*
* *

Toutes ces tentatives avaient pour but notamment d'améliorer les diagrammes de vapeur ; on peut dire, d'une façon générale, que les économies réalisées de ce fait ont toujours été compensées par une plus grande complication du mécanisme ; et qu'on les a abandonnées, sacrifiant l'économie éventuelle à la simplicité et à la sûreté du fonctionnement.

*
* *

F. - Du renversement de la marche.

§ 18. — Dans les locomotives (de même d'ailleurs que dans les machines marines, les machines d'extraction et de laminoirs), la rotation doit pouvoir se faire tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Dans une distribution par tiroirs plans (admission de vapeur par les arêtes extérieures), lorsque la manivelle est à son point mort AR, l'excentrique, pour le sens de marche φ , se trouve en OC, c'est-à-dire en avant de la manivelle motrice de l'angle de calage ($90^\circ + \delta$) de marche AV ; le tiroir est à la distance Ot de sa position moyenne.

Pour le sens de marche inverse φ' , l'excentrique doit être en OC' : c'est-à-dire qu'il doit occuper une position symétrique par rapport à

la direction du mouvement du tiroir. Il faut donc, pour pouvoir renverser la marche, disposer de deux excentriques dont l'un seulement est rendu actif selon le sens de marche désiré. Divers dispositifs ont été imaginés pour appliquer ce principe. Seules, les coulisses sont maintenant employées dans ce but et sont devenues d'un usage général.

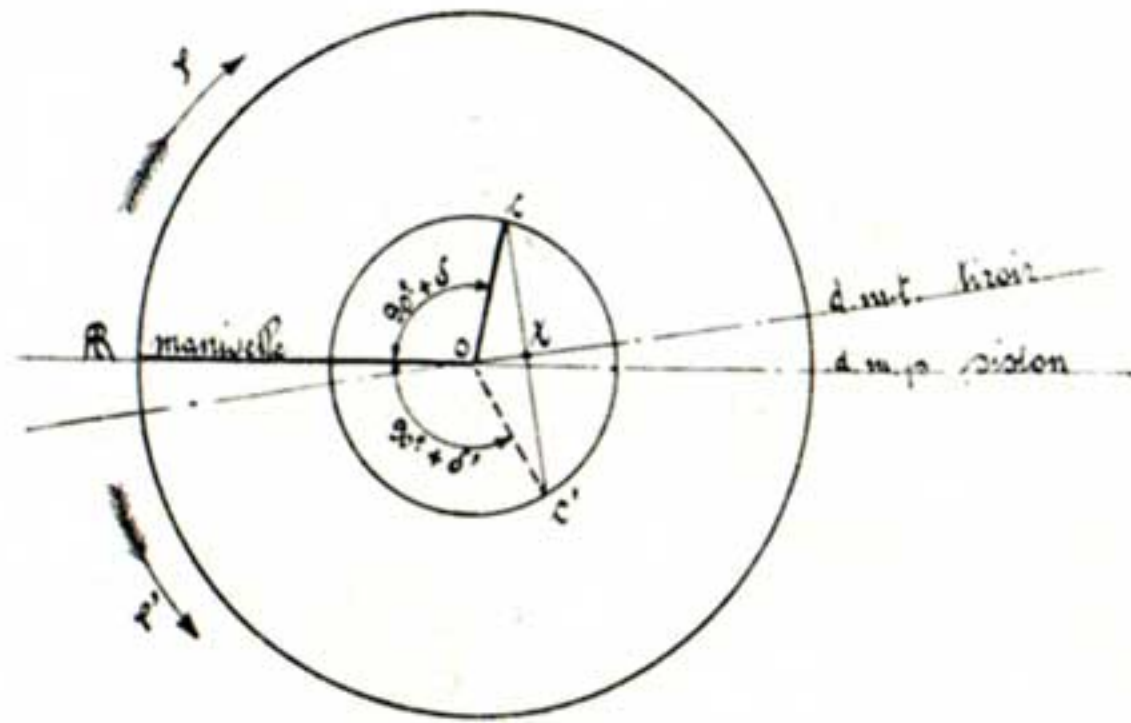


Fig. 48.

*
* *

Dans l'étude qui va suivre des distributions de Stephenson, Gooch et Allan, nous supposerons toujours que la direction de la tige de tiroir passe par le centre de l'essieu ; c'est là la construction normale ; les résultats auxquels nous aboutirons ne vaudront, a priori, que pour cette hypothèse ; si cette condition n'était pas satisfaite, l'étude devrait être refaite dans chaque cas et on devrait tenir compte des troubles produits (voir § 13).

§ 19. — 1) *Distribution par coulisse de Stephenson.*

Deux excentriques de même dimension, symétriques par rapport à la d.m.t. sont reliés chacun à une barre d'excentrique. Les deux barres sont articulées aux extrémités d'une coulisse en forme d'arc de cercle. Celle-ci est suspendue par l'une de ses extrémités ou par son milieu et peut, en se déplaçant en hauteur, glisser sur un coulisseau qui termine le bout de la tige de tiroir. La concavité de la coulisse est tournée vers l'arrière.

On peut amener l'une ou l'autre des barres d'excentriques en face de la tige de tiroir et ainsi, permettre à la machine la marche dans un sens ou dans l'autre.

Il existe deux dispositions de barres : dans la première, la manivelle étant à son point mort AR, les barres sont droites ou ouvertes ; dans la seconde, elles sont croisées.

Noter qu'après 1/2 tour de roues, les barres ouvertes sont croisées et les barres croisées sont devenues ouvertes.

DENOMINATION DES ORGANES.

1. Barre d'excentrique de marche AV.
2. Barre d'excentrique de marche AR.
3. Bielle de relevage.
4. Arbre de relevage.
5. Barre de relevage ou de changement de marche.
6. Levier de changement de marche.
- 7.-7. Leviers de l'arbre de relevage.
8. Coulisse.
9. Coulisseau.
10. Crossette de tiroir. - Glissière du tiroir.
11. Tige de tiroir.

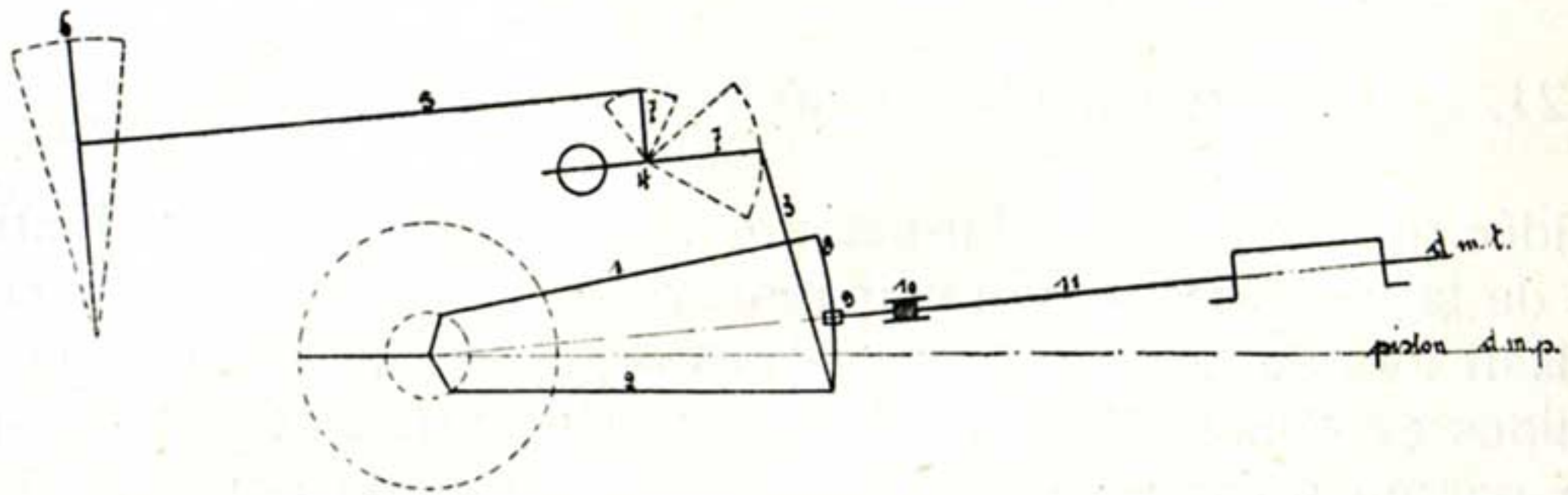


Fig. 49.

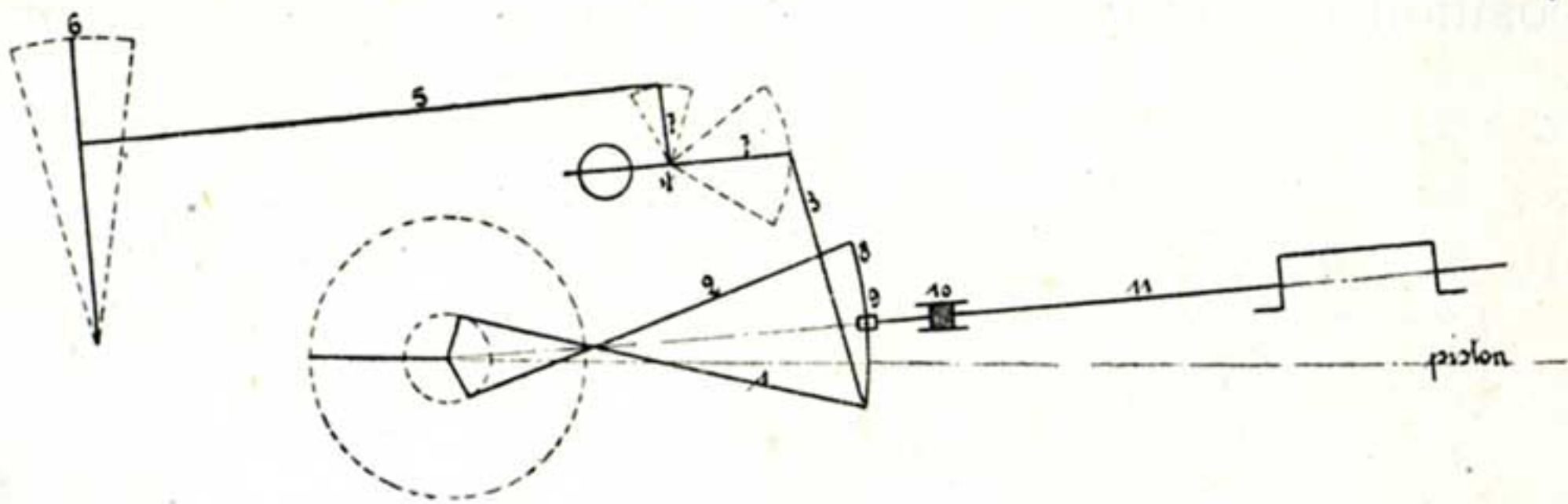


Fig. 50.

§. 20. — *Marche AV. Marche AR.*

La coulisse étant à fond de course, si le pied de l'une des barres d'excentriques se trouve juste en face du coulisseau, la distribution se fait comme s'il n'y avait qu'un seul excentrique et pas de coulisse.

La coulisse Stephenson réalise donc le changement de marche en maintenant à la distribution sa forme la plus simple (fig. b).

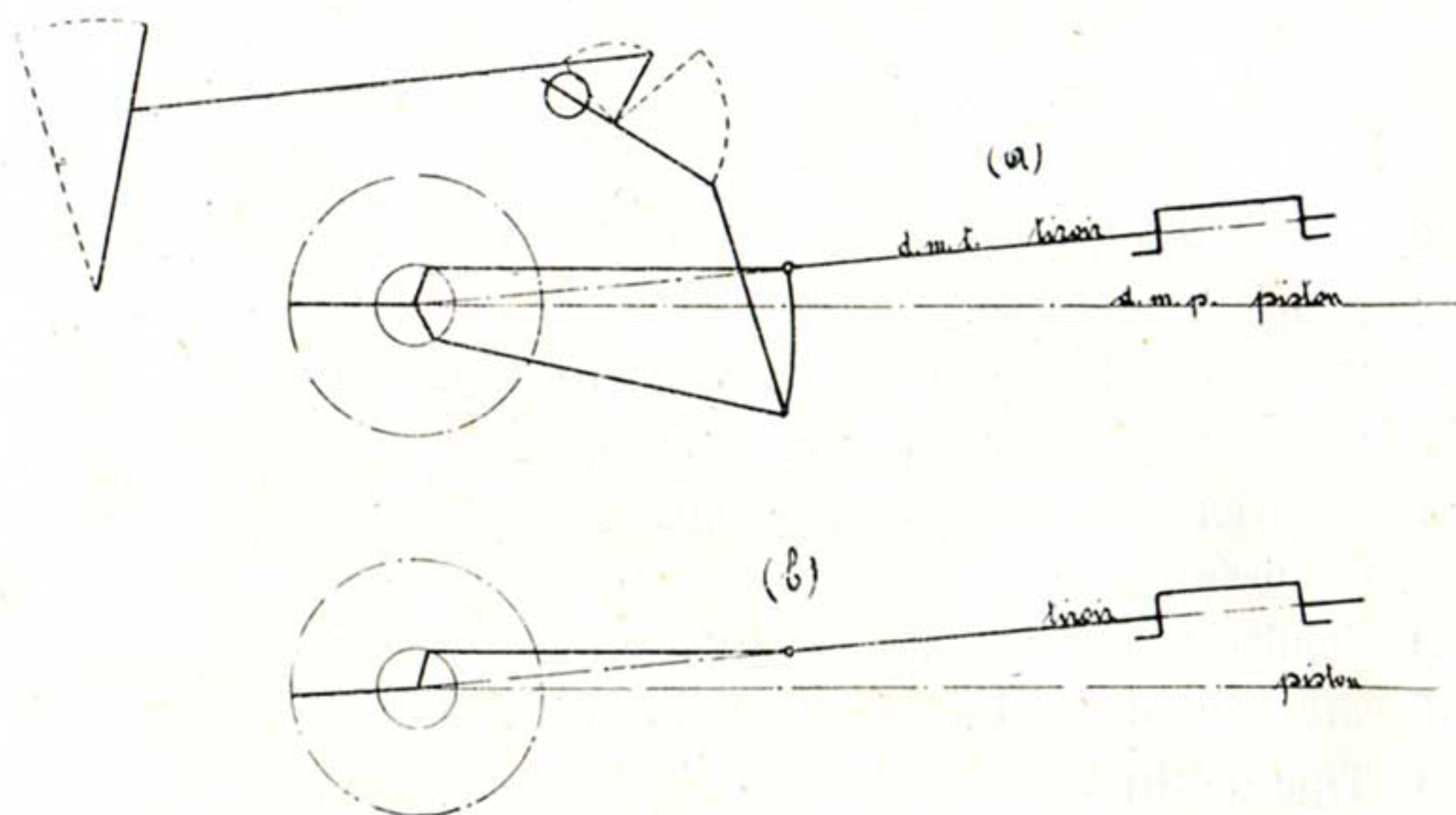


Fig. 51.

§ 21. — *Accroissement de la détente.*

L'idée qui a présidé à l'utilisation des coulisses de distribution procède de la nécessité de pouvoir renverser la marche de la machine. On ne visait lors de la conception de ces organes que l'utilisation de leurs positions extrêmes. Mais on s'aperçut bientôt qu'en faisant conduire le tiroir par un point *intermédiaire* de la coulisse on pouvait faire varier la détente dans des conditions acceptables et même qu'en amenant le milieu de la coulisse en face du coulisseau, on arrêta la machine ; de là le nom de *cran d'arrêt* ou de *point mort* qu'on donne parfois à cette position du coulisseau dans la coulisse.

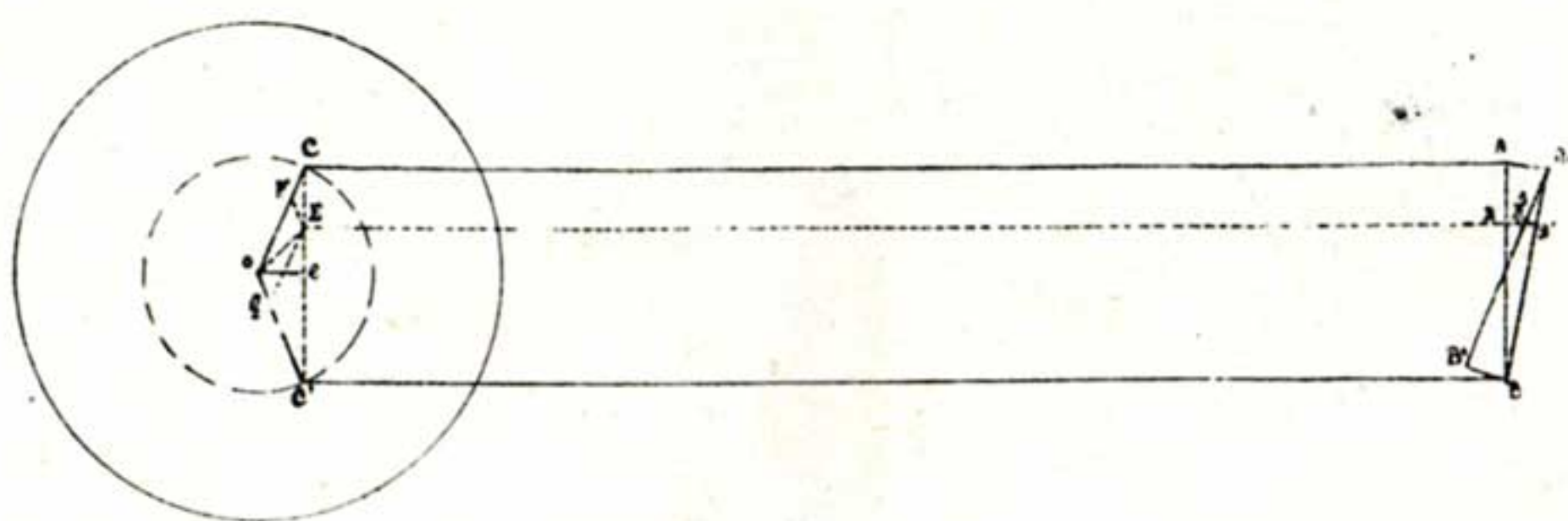


Fig. 52.

Supposons : (fig. 52).

1° que les barres restent toujours parallèles à elles-mêmes et à la d.m.t. c'est-à-dire qu'elles aient une longueur infinie.

2° que les angles d'oscillation de la coulisse (supposée droite) soient faibles de sorte que les divers points de celle-ci se déplacent à peu près parallèlement à la d. m. t.

Cette dernière hypothèse ne s'écarte pas trop de la vérité. En ce qui concerne l'obliquité des barres d'excentrique, la correction nécessaire sera apportée au paragraphe suivant.

Cela dit, supposons un déplacement très léger de tout le système amenant la coulisse de AB en A_1B_1 .

Nous pouvons opérer ce mouvement par deux rotations successives, l'une de AB en A_1B (rotation autour de B), l'autre A_1B en A_1B_1 (rotation autour de A_1).

Le coulisseau est conduit par le point D de la coulisse, tel, par exemple, que $AD = \frac{AB}{4}$.

Joignons CC' et prenons le point E tel que $CE = \frac{CC'}{4}$. Nous allons démontrer que D s'est déplacé comme s'il avait été conduit par l'excentrique fictif OE. Menons EG et EF parallèles respectivement à OC et à OC' . Il en résulte que $OF = \frac{3}{4} OC$ et $OG = \frac{1}{4} OC'$.

Nous avons supposé les deux rotations successives ; immobilisons donc l'un des excentriques.

Dans la rotation autour de B, le point A décrit un arc AA_1 , et est conduit par l'excentrique OC, l'excentrique OC' restant immobile. Le point D a décrit un arc $DD' = \frac{3}{4} AA_1$ et s'est donc déplacé comme s'il avait été conduit par un excentrique OF.

Dans la rotation autour de A_1 , le point B a décrit un arc BB_1 , et a été conduit par l'excentrique OC' , OC restant fixe. Le point D' a décrit un arc $D'D_1 = \frac{1}{4} BB_1$ et s'est déplacé comme s'il avait été conduit par un excentrique OG.

Nous voyons que le mouvement du point D résulte de deux mouvements dus aux excentriques OF et OG. En composant ceux-ci, nous obtenons l'excentrique résultant OE, et on peut dire que le tiroir se déplace comme s'il était conduit par cet excentrique fictif.

On voit :

1° que lorsque la coulisse est à fond de course, l'angle de calage est égal à MOC et la course du tiroir est égale à 2 OC.

2° que lorsque le coulisseau se rapproche du milieu de la coulisse et vient, par exemple en D, l'angle de calage est devenu MOE (est augmenté) et la course du tiroir 2 OE (est diminuée).

3° que, pour la position du coulisseau au milieu de la coulisse, l'angle de calage est de 180° et la course du tiroir à sa valeur minimum 2 Oe.

La conduite du tiroir par un point intermédiaire de la coulisse a donc bien pour effet d'accroître la détente, puisqu'elle produit l'augmentation de l'angle de calage et la diminution de l'excentricité (§ 14).

§ 22. — Effets de l'obliquité des barres d'excentriques.

Construction des excentriques fictifs.

Dans le paragraphe précédent, nous avons supposé que les bielles étaient de longueur infinie et nous avons trouvé que, lorsque le coulisseau est au centre de la coulisse, le tiroir est conduit par l'excentrique fictif Oe ; sa course est donc égale à $2 Oe$.

Nous allons voir que l'obliquité des barres a pour effet de déplacer l'extrémité de l'excentrique de e en H , point situé à droite ou à gauche de la droite CC' .

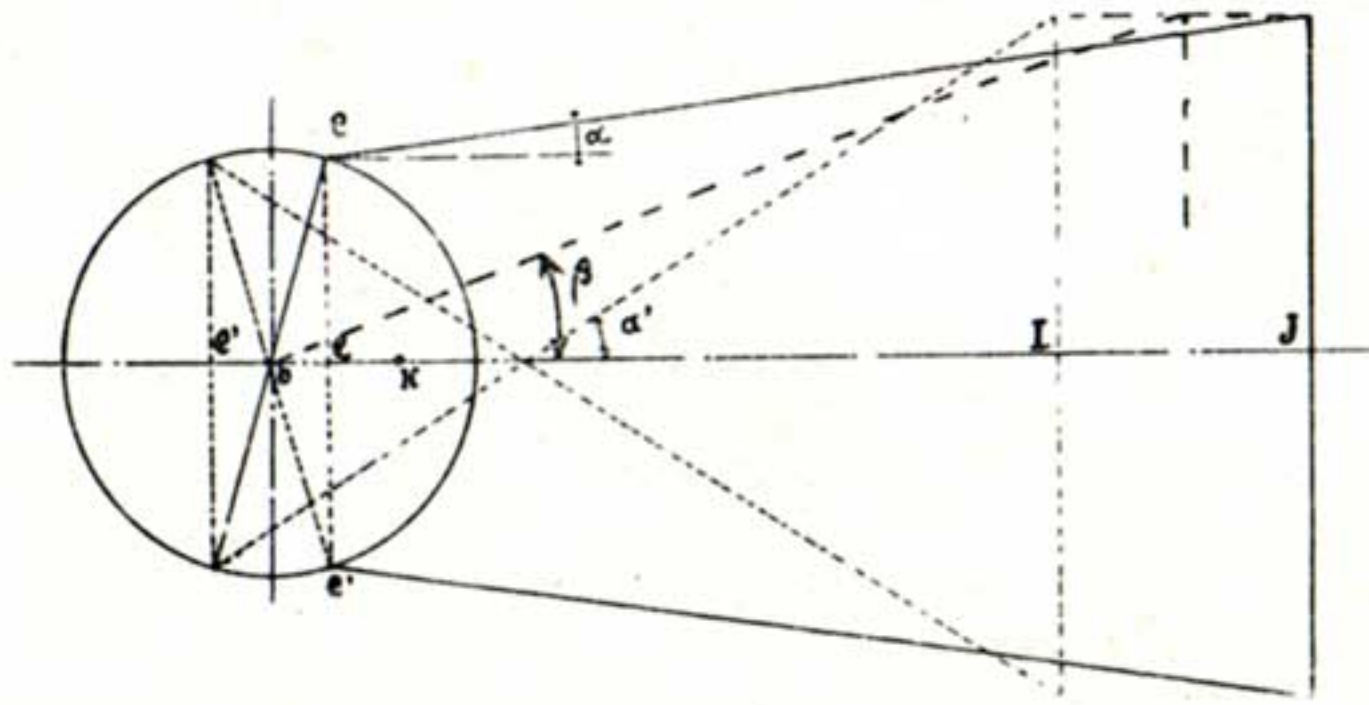


Fig. 53.

La course du tiroir correspondant à cette position du coulisseau dans la coulisse, est de $2 OH = IJ = OJ - OI = Oe + eJ - e'I + Oe' = 2 Oe + eJ - e'I$.

Soit l la longueur des barres d'excentrique.

$$IJ = 2 Oe + l \cos. a - l \cos. a' = 2 Oe + l (\cos. a - \cos. a').$$

$$\text{Il vient donc : } OH = \frac{IJ}{2} = Oe + \frac{l}{2} (\cos. a - \cos. a').$$

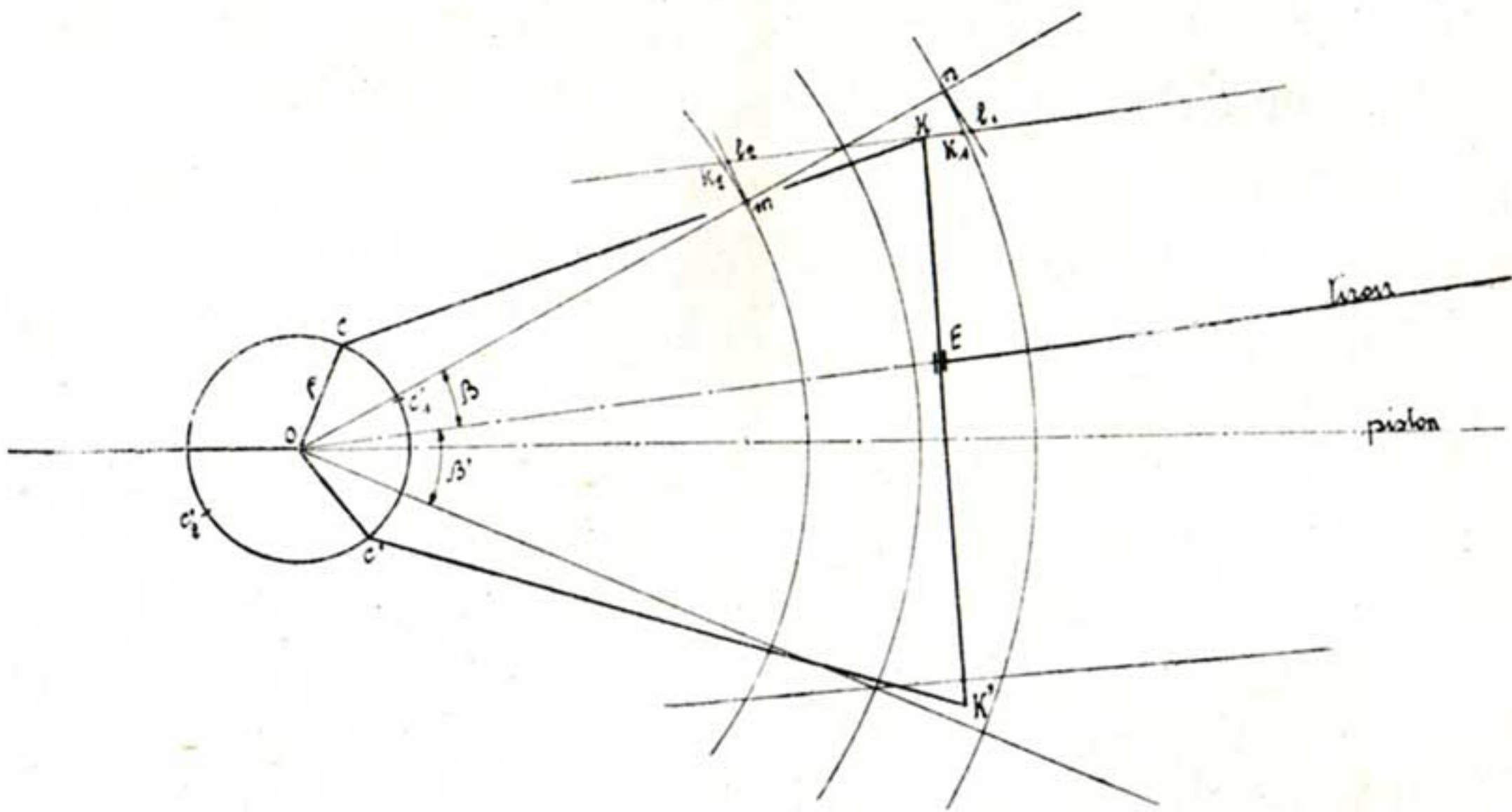


Fig. 54.

Dans le cas de barres droites, eH est positif, c'est-à-dire à droite de e , car $a < a'$. Avec des barres croisées, H serait à gauche de e .

Ainsi le lieu des extrémités des excentriques fictifs n'est pas la droite CC' , mais une courbe passant par les 3 points C , H et C' .

On peut rechercher directement l'excentrique fictif correspondant à une position intermédiaire quelconque de la coulisse. L'excentrique OC de rayon ϱ attaque le point K qui se déplace dans une direction ne passant pas par le centre de l'essieu ; c'est le cas spécial prévu sous 2) au § 13. Cet excentrique doit donc être rectifié 1°) en augmentant de β l'angle de calage ; 2°) en adoptant comme excentricité $\frac{\varrho}{\cos \beta}$. On peut faire le même raisonnement pour trouver l'excentrique rectifié de OC' .

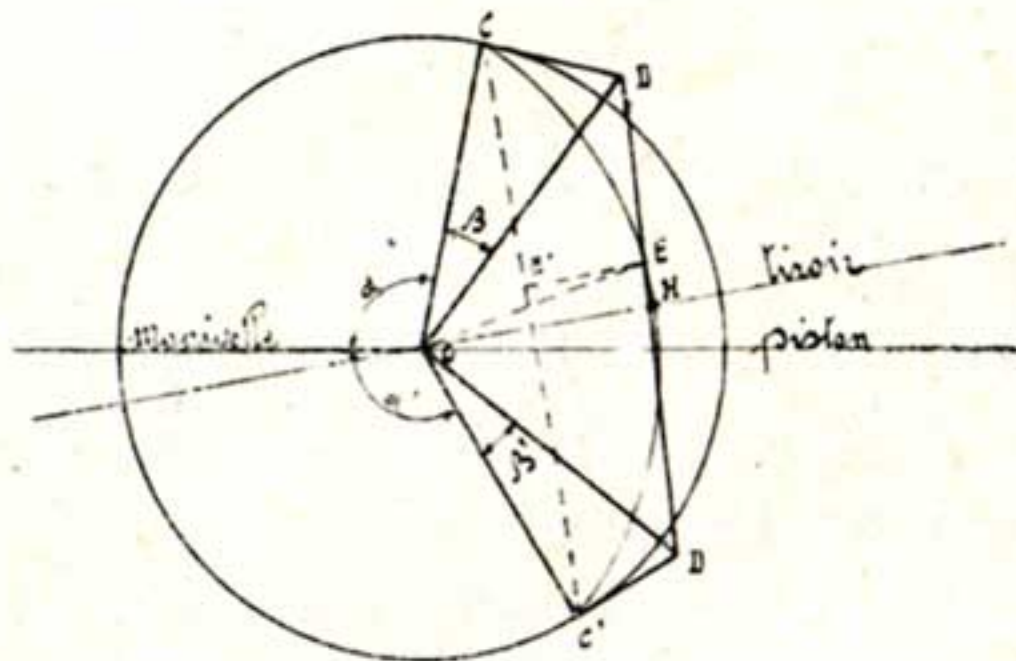


Fig. 55.

La fig. 55 indique comment on doit procéder pour construire les deux excentriques rectifiés, puis l'excentrique fictif. Après avoir porté les angles β et β' , à côté des angles de calage réels, on élève en C et C' , sur l'excentricité réelle, les perpendiculaires CD et $C'D'$. Les excentriques rectifiés de OC et OC' sont OD et OD' . C'est la droite DD' (et non plus CC') qu'il faut diviser dans le même rapport que le coulisseau divise la coulisse, pour trouver l'excentrique fictif OE cherché.

Remarquer qu'au cours d'une rotation de la manivelle, les angles β et β' ne varient que de chiffres insignifiants et qu'ainsi cette position de E correspond bien à une position déterminée du coulisseau dans la coulisse.

Faisant le tracé pour les diverses positions de la coulisse, on trouve que le lieu géométrique des points E , autrement dit, la *courbe des excentriques fictifs*, est une parabole passant par C , C' et le point H que nous avons déjà trouvé précédemment. Zeuner a montré que le paramètre de cette parabole est $2p = \frac{1}{c} \varrho \cos \delta$ (l , longueur des barres d'excentrique, c , 1/2 longueur de la coulisse, ϱ , excentricité, δ , angle d'avance).

Le cercle oscultateur au sommet H de la parabole (c'est-à-dire le cercle tangent tracé avec, comme rayon, le rayon de courbure en ce point) diffère très peu de la parabole dans l'intervalle CHC' ; à la vue, il n'existe aucune différence entre les deux tracés, ainsi on peut dire que la courbe des excentriques fictifs est un arc de cercle de rayon égal à $\frac{1}{c} \rho \cos \delta$ c'est-à-dire à la moitié du paramètre.

Dans la pratique, on remplace donc la parabole par l'arc de cercle passant par les 3 points précités.

Rappelons que la valeur de OH a déjà été calculée précédemment, nous possédons maintenant un autre moyen de trouver le point H, le coulisseau étant au centre de la coulisse ($\beta = \beta'$) ; il suffit de tracer OD et OD' avec ces valeurs égales de β et de β' . Le point H se trouve sur la droite DD'.

Dans le cas de la coulisse à barres droites, la courbe des excentriques fictifs tourne sa concavité vers l'arbre ; c'est l'inverse dans la disposition avec barres croisées.

On peut, la courbe des excentriques fictifs étant tracée, trouver immédiatement l'excentrique fictif correspondant à une position quelconque du coulisseau dans la coulisse par la méthode de Fliegner (*) ci-après, que nous ne pouvons démontrer ici : on joint, par une droite, les extrémités C et C' de la courbe ; on divise cette droite, en E', dans le rapport des segments déterminés par le coulisseau sur la coulisse ; par E' on mène une parallèle à la d. m. t., qui rencontre la courbe des excentriques fictifs en E ; OE est l'excentricité cherchée.

Remarques : 1) La notion de l'excentrique fictif est très féconde ; c'est elle qui permet l'étude des distributions à coulisse au moyen des épures que nous avons analysées précédemment.

2) Si on avait (comme dans les types Walschaerts, Gooch) affaire à une coulisse ne se relevant pas, β et β' seraient constants et par suite, la courbe des excentriques fictifs deviendrait une droite.

§ 23. — *Courbure de la coulisse.*

La courbe des excentriques fictifs est indépendante de la forme de la coulisse. Mais cette forme a une influence sur les avances à l'admission. Si elle n'est pas judicieusement choisie, elle trouble l'égalité qui doit toujours exister, pour tout cran de marche, entre les avances à l'avant et à l'arrière du tiroir.

La courbure qu'on donne à la coulisse vise à supprimer cette influence perturbatrice.

(*) Fliegner. — Die Umsteuerungen mit dem einfachen Schieber-Zürich.

Considérons donc la distribution dans ses positions d'avance, coulisseau au centre.

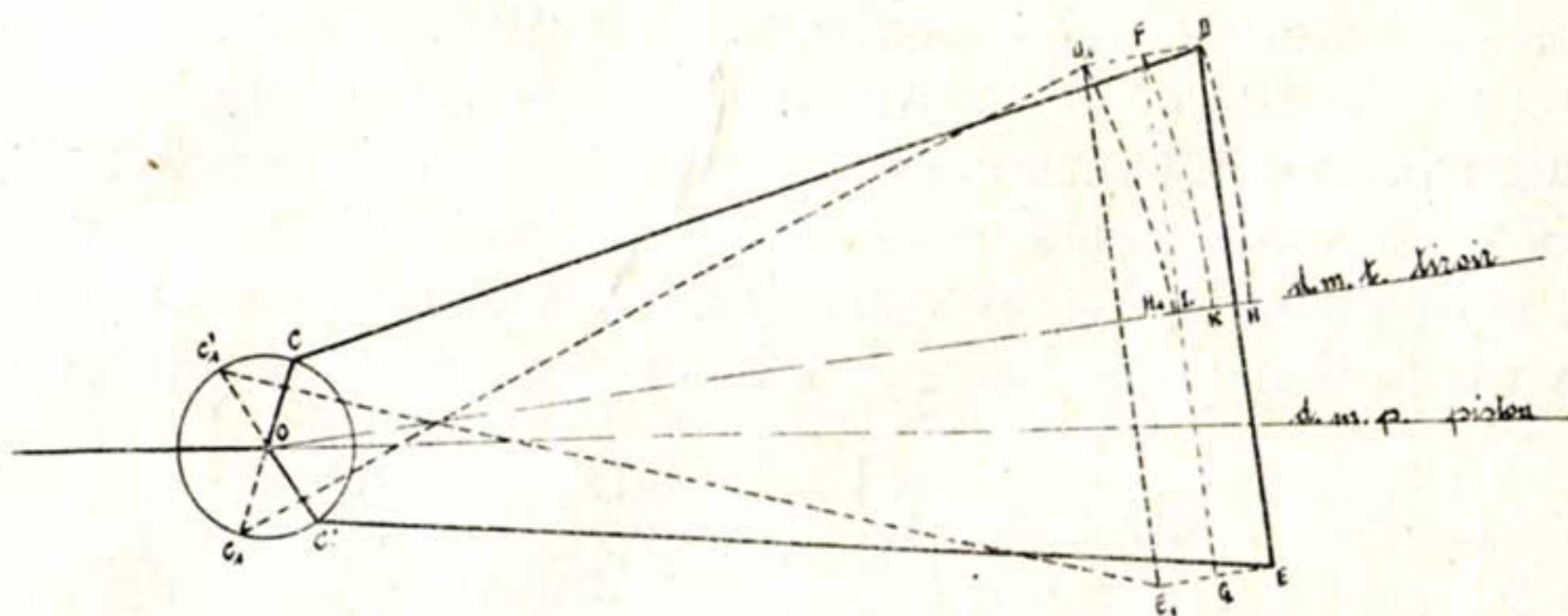


Fig. 56.

1° Lors de la plus grande admission de marche AV, les points D et D₁ viennent respectivement en H et H₁. Les avances linéaires devant être égales de chaque côté, le point K, situé au milieu de HH₁, (et très approximativement sur l'arc de rayon $l = CD$ passant par F et de centre O) représente le coulisseau lorsque le tiroir se trouve dans sa position moyenne idéale. (Nous supposons que le tiroir est réglé de façon que cette condition soit satisfaite) $KH = e + a$ (recouvrement extérieur + avance à l'admission.)

Pour que l'avance a ne varie qu'avec l'excentrique fictif, (soit indépendante de la forme de la coulisse) il faut que le point K reste immobile lors du déplacement de la coulisse.

2° Replaçons la coulisse au point mort ; la position moyenne du tiroir s'est déplacée de KL et les avances ne sont plus égales. Il faudrait donc si la coulisse était droite régler la tige de tiroir pour chaque cran de marche.

Ce déplacement de la position moyenne du tiroir est évité quand on produit la coïncidence des points L et K en donnant à la coulisse la courbure de l'arc FK, dont le rayon est égal à la longueur des barres d'excentrique.

§ 24. — Angle d'oscillation de la coulisse.

Lorsque le coulisseau est au centre de la coulisse, celle-ci (supposée droite et déterminée par ses deux points d'articulation) est perpendiculaire à la d. m. t. quand la manivelle est à ses points morts ; les excentriques rectifiés sont OD et OD' (fig. 57) (l'excentrique fictif est OH) et la droite DD' est aussi perpendiculaire à la d. m. t. c'est-à-dire parallèle à la coulisse.

Cela étant, comme les articulations K et K' sont conduites respectivement par les excentriques rectifiés OD et OD', les déplacements

relatifs de K et K' en direction de la d. m. t. seront les mêmes que les déplacements relatifs des points D et D' dans la même direction. (On ne pourrait en dire autant des déplacements dans une autre direction car, dans la recherche des excentriques rectifiés, c'est cette seule direction qui a été envisagée et c'est pour elle, seule, que vaut la rectification des excentriques). L'écartement, dans cette même direction, des articulations K et K' sera maximum quand la droite DD' (qui tourne avec l'arbre) sera parallèle à cette direction. La coulisse se trouvera alors inclinée sur la perpendiculaire à la d. m. t. d'un angle γ tel que

$$\sin \gamma = \frac{K'J}{KK'} = \frac{DD'}{KK'} = \frac{DD'}{2c}$$

si l'on désigne par $2c$ la longueur de la coulisse.

Après que la manivelle aura encore tourné de 180° , la droite DD' reviendra horizontale, la coulisse sera encore inclinée de γ sur la perpendiculaire à la d. m. t. mais, cette fois, en sens inverse.

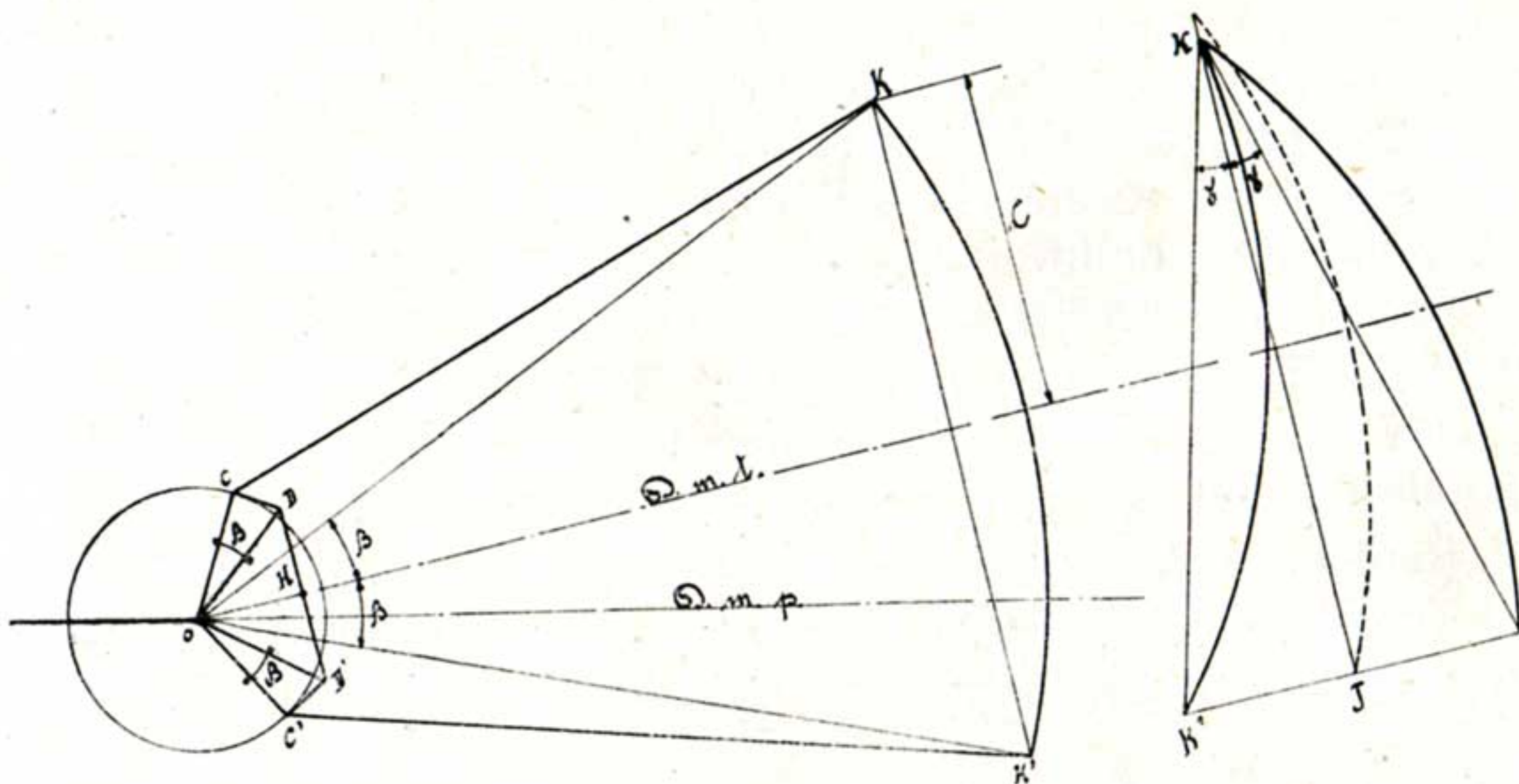


Fig. 57.

Lorsque le coulisseau ne se trouve pas au centre de la coulisse (fig. 58), celle-ci n'est plus dirigée suivant la perpendiculaire à la d. m. t. quand la manivelle est à l'un de ses points morts ; la droite DD' n'est pas restée non plus perpendiculaire à la d. m. t. Les écarts maxima des deux extrémités de la coulisse dans la d. m. t. sont encore donnés par la longueur DD' (qui n'est plus la même que dans le cas précédent) ; mais les deux écarts, égaux tous deux à DD', ne peuvent plus se compter de part et d'autre de la perpendiculaire à la d. m. t. ; ils doivent être comptés à partir de la direction de la coulisse quand la droite DD' est perpendiculaire à la d. m. t. ; la coulisse fait alors avec celle-ci un certain angle α ; comptés à partir de la perpendiculaire à la d. m. t. les écarts angulaires de la coulisse ne sont donc plus égaux.

L'angle γ d'oscillation de la coulisse autour de l'axe précité (incliné de α sur la perpendiculaire à la d. m. t.) est donné par

$$\sin \gamma = \frac{K'L}{KK'} = \frac{KJ \cos \alpha}{2c} = \frac{DD' \cos \alpha}{2c}$$

Pratiquement, on peut admettre que α est égal à φ (φ étant l'angle d'inclinaison de DD' sur la perpendiculaire à la d. m. t.). En effet, φ , angle extérieur à la circonférence de l'excentrique, est un peu plus grand que $\frac{\beta_2 - \beta_1}{2}$ (voir les arcs interceptés); $\frac{\beta_2 - \beta_1}{2}$ est égal à

TSK , formé par la corde KK' de la coulisse et la tangente à celle-ci menée à l'endroit du coulisseau; α est légèrement plus grand que TSK puisqu'il est obtenu en faisant tourner l'arbre jusqu'à ce que DD' soit perpendiculaire à la d. m. t. On peut donc poser :

$$\sin \gamma = \frac{DD' \cos \varphi}{2c} = \frac{DD''}{2C}$$

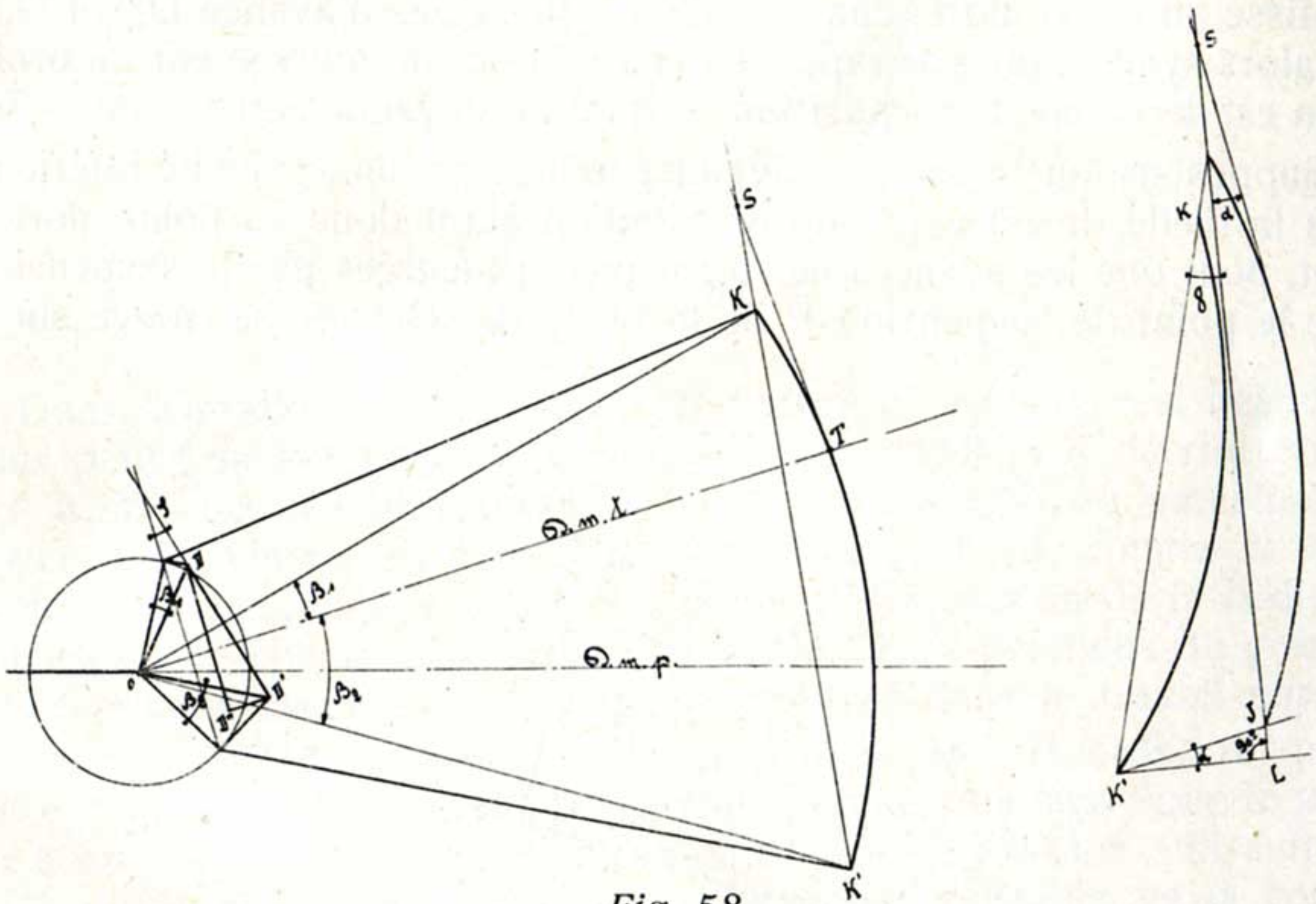


Fig. 58.

DD'' est la distance entre D et D' mesurée perpendiculairement à la d. m. t.

D'où la règle :

Le sinus de l'angle γ est égal à la projection de DD' sur la perpendiculaire à la d. m. t. divisée par la longueur de la coulisse ; l'oscillation a lieu autour d'un axe qui fait avec cette perpendiculaire un angle de $\frac{\beta_2 - \beta_1}{2}$

Cette règle est d'application générale ; elle vaut pour les coulisses de Stephenson, Gooch et Allan.

§ 25. — *Suspension de la coulisse.*

La détermination de cette suspension vise 1°) à rendre minimum le déplacement du coulisseau dans la coulisse. 2°) à empêcher que soit troublée l'égalité des avances à l'avant et à l'arrière du tiroir, réalisée par la courbure de la coulisse d'après le rayon des barres d'excentriques.

Si la coulisse, au lieu d'être suspendue en un point, se déplaçait horizontalement comme le coulisseau, il ne se produirait aucun déplacement relatif, en hauteur, de ces organes. On se rapproche de cette situation idéale, c'est-à-dire qu'on réduit l'inconvénient au minimum en prenant la bielle de relevage PE aussi longue que possible.

En ce qui concerne le second desideratum, considérons d'abord la coulisse au point mort ; chacune de ses positions d'avance DE et D_1E_1 est alors symétrique par rapport à la direction du mouvement du tiroir ; il en est de même de sa position (virtuelle) moyenne entre avances FG.

Supposons que la coulisse soit suspendue par son extrémité inférieure E à la bielle de relevage. La distribution étant donc au point mort, il faut, pour que les avances ne soient pas influencées par la suspension, que le point de suspension P de la bielle de relevage se trouve sur la

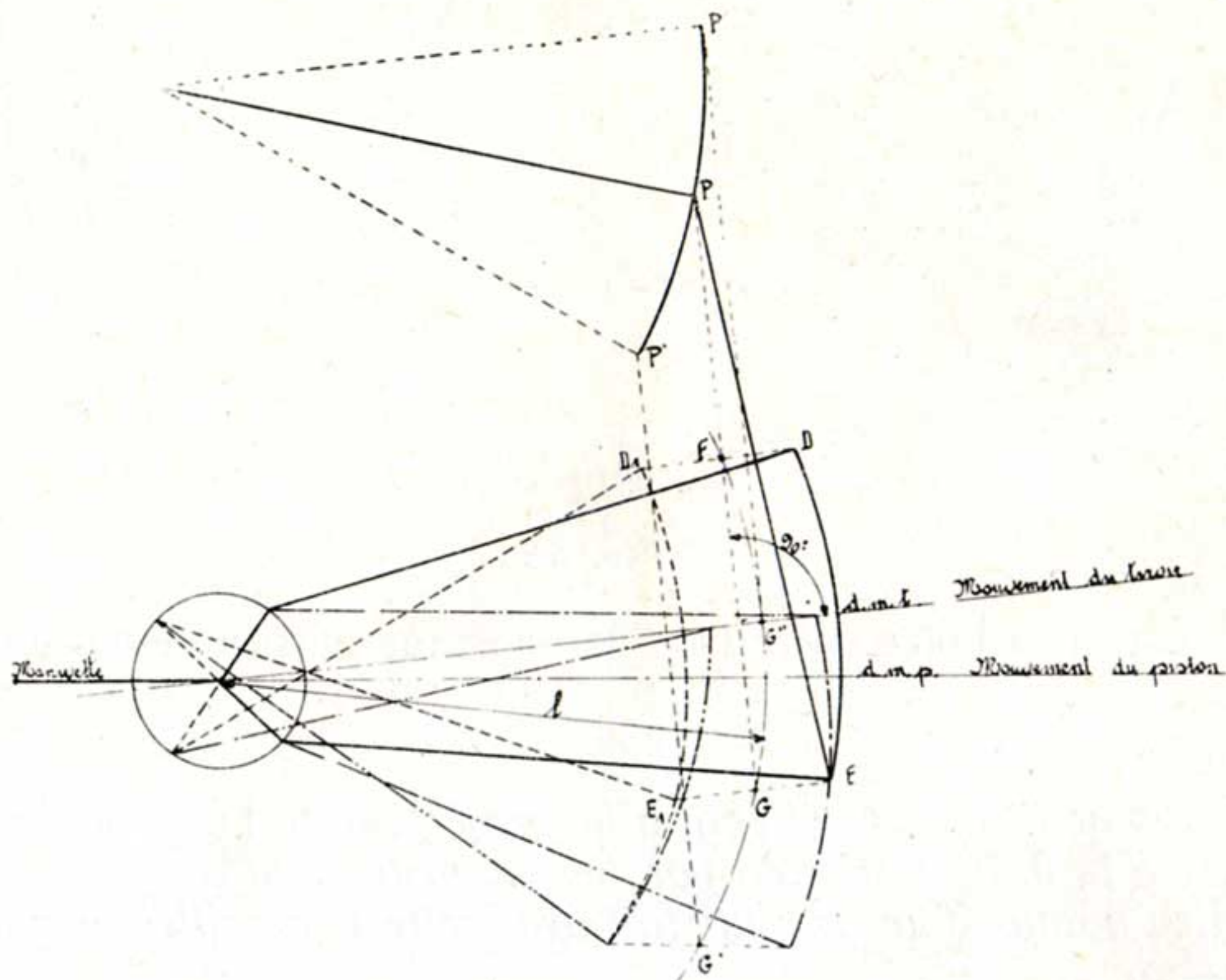


Fig. 59.

perpendiculaire à EE_1 (c'est-à-dire à la d. m. t.) élevée en G, milieu de EE_1 . On a alors $PE = PE_1$.

Le même résultat sera atteint, pour toute position de la coulisse, si la droite PG se déplace toujours parallèlement à elle-même ; en d'autres termes, si la courbe $P''PP'$ décrite par le point de suspension de la bielle de relevage est identique à la trajectoire du point G (milieu entre les positions d'avance du point de suspension de la coulisse) et possède la même orientation. Or, le point G décrit très approximativement un arc de cercle de rayon l (longueur des barres d'excentriques) ayant comme centre l'axe de l'essieu. C'est dire que la position rationnelle de l'arbre de relevage se trouve au droit de l'essieu par rapport à la direction du mouvement du tiroir.

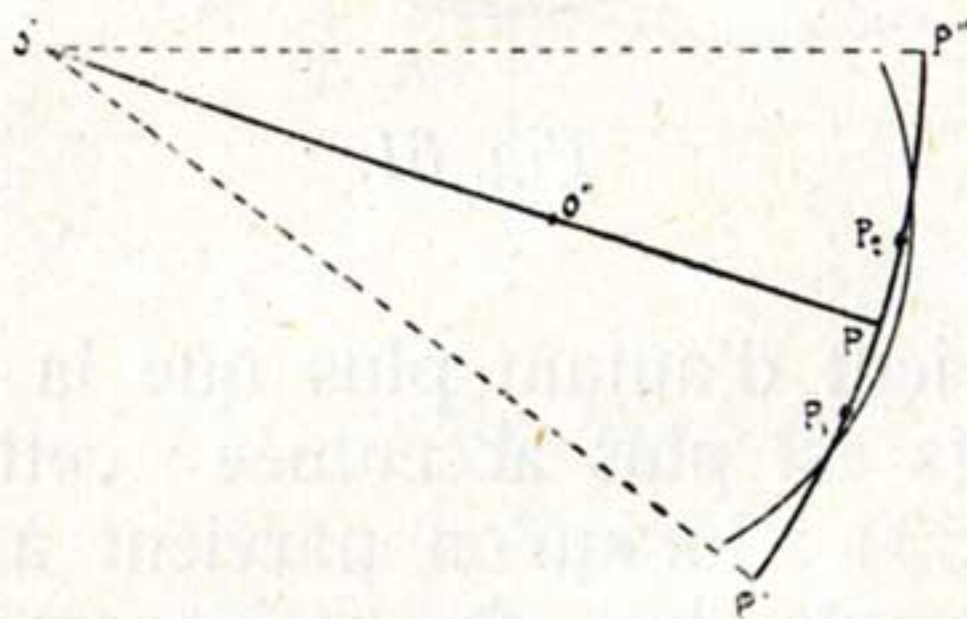


Fig. 60.

Dans la pratique, le levier $O'P$ de l'arbre de relevage est beaucoup plus petit ; sa longueur est telle que l'angle qu'il peut décrire est de 60° à 90° . Les troubles apportés par là sont réduits au minimum en procédant comme suit (fig. 60). On trace d'abord, comme il vient d'être dit, la trajectoire $P''PP'$ du point de suspension de la bielle de relevage ; on cherche, sur cette courbe, les deux positions du point P correspondant au degré de détente employée dans le travail normal, en marche AV et en marche AR ; on trouve ainsi P_1 et P_2 , on place l'arbre de relevage suivant l'espace disponible, de façon que le point de suspension de la bielle décrive une trajectoire passant suffisamment près de P_1 et P_2 , tout en s'écartant le moins possible de la courbe idéale $P''PP'$.

§ 26. — *Variations des avances selon que les barres sont droites ou croisées.*

L'excentricité étant OE , la distance OA est égale, dans le cas de bielle infinie, au recouvrement extérieur augmenté de l'avance linéaire à l'admission :

$$OA = e + a.$$

1° Lorsque l'extrémité E' de l'excentrique (fictif) s'éloigne à droite de EA, l'avance à l'admission augmente : c'est le cas de la coulisse à barres droites.

Lorsqu'elle s'éloigne à gauche, l'avance diminue : c'est le cas des barres croisées.

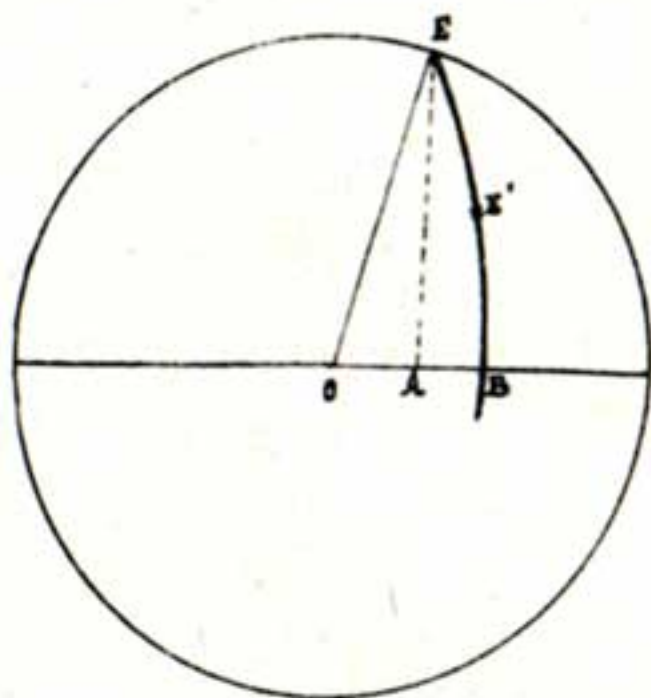


Fig. 61.

2° Les avances varient d'autant plus que la courbure de la ligne des excentriques fictifs est plus accentuée ; cette courbure augmente avec l'angle β (fig. 53) ; lorsqu'on parvient à réduire l'excentricité en adoptant, par exemple, lors du projet, un échappement double (§§ 63, 64), on réduit dans le même rapport la longueur de la coulisse ; on diminue ainsi l'angle β ; on aplatit la ligne des excentriques fictifs et on diminue la variation des avances aux différents crans de marche.

§ 27. — *Comparaison des barres droites et croisées.* — 1° Nous verrons plus tard (§ 56) qu'il est avantageux que les plus grandes avances correspondent aux plus grandes détente.

2° La position du levier de changement de marche vers l'avant de la locomotive doit toujours correspondre à la marche AV de la machine.

Pour ces deux raisons, les barres droites sont les plus employées.

§ 28. — *Emploi de la coulisse de Stephenson.*

Quand il s'agit de cylindres intérieurs, où l'espace fait défaut entre ceux-ci et l'essieu moteur, l'emploi de cette distribution s'impose ; c'est elle qui est la plus courte.

Le mécanisme en est d'ailleurs très simple.

L'inconvénient qu'on lui reproche, est la variabilité des avances.

§ 29. — 2) *Distribution par coulisse de Gooch.*

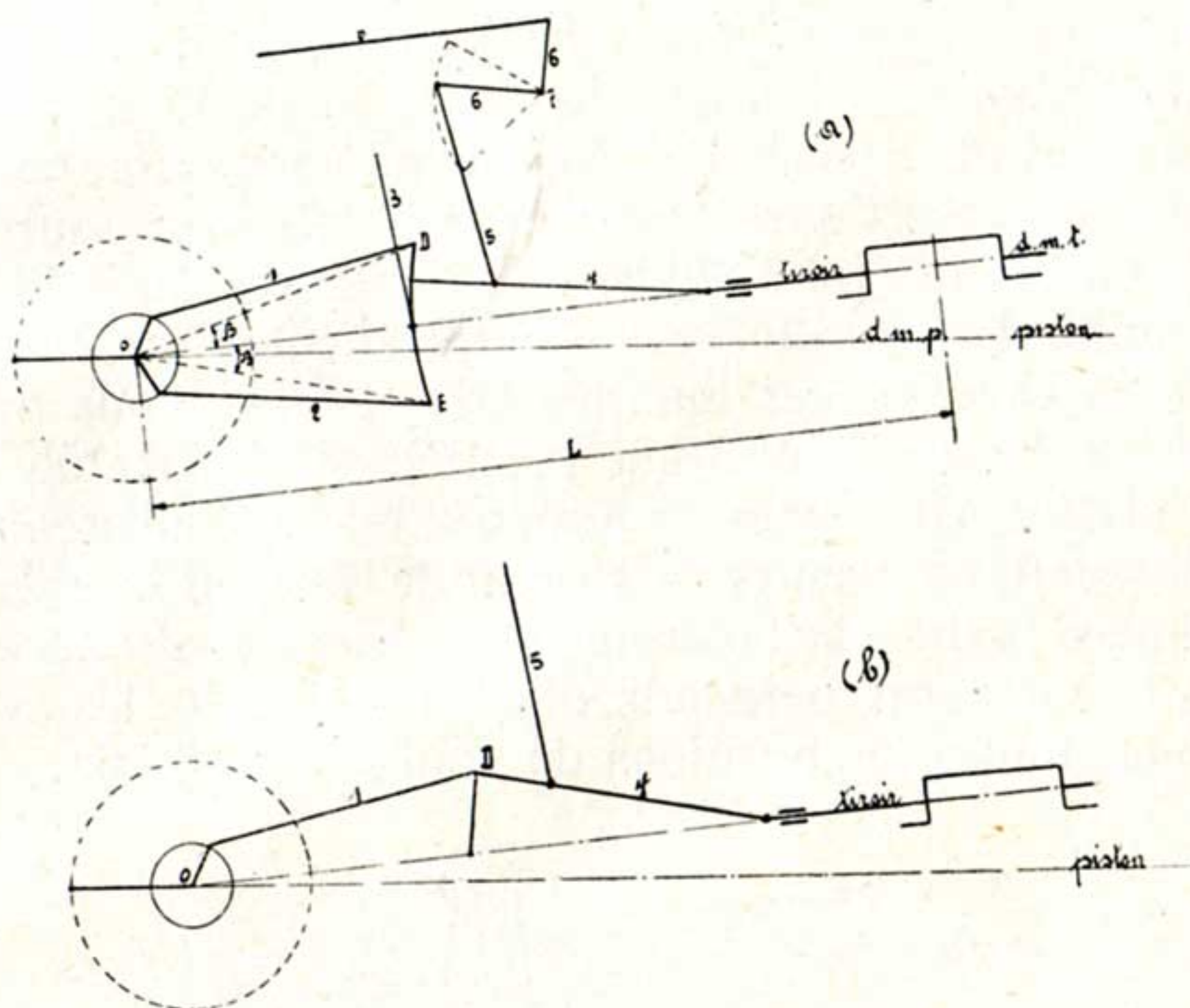


Fig. 62.

DENOMINATION DES PIECES.

1. Barre d'excentrique de marche AV.
2. Barre d'excentrique de marche AR.
3. Bielle de suspension.
4. Bielle de commande du tiroir.
5. Bielle de relevage.
- 6-6. Leviers de l'arbre de relevage.
7. Arbre de relevage.
8. Barre de relevage ou de chagnement de marche.

Ici le coulisseau se déplace en hauteur et la coulisse est suspendue à un point fixe ; on doit donc avoir recours, pour l'attaque de la crosse de tiroir, à un organe supplémentaire, la bielle de commande du tiroir (4, fig. 62) ; ainsi, toutes autres choses égales, la distribution Gooch est plus longue que la distribution Stephenson ; par contre, elle nécessite moins d'espace en hauteur, la coulisse ne se relevant pas.

On voit que cette coulisse produit le changement de marche moins simplement, au point de vue cinématique, que la Stephenson ; le mécanisme qu'elle réalise est représenté en b ; sa conception ne se justifie que par le souci de gagner de la place en hauteur et aussi, peut-être, par la recherche de l'égalité des avances à tous les crans de marche.

§ 30. — *Courbe des excentriques fictifs.*

Appliquant la méthode de recherche exposée au § 22, on remarque que les angles β ne se modifient pas avec la position du coulisseau dans la coulisse et que, par suite, il suffit de construire, une fois pour toutes, les deux excentriques rectifiés qui vaudront pour toutes les positions du coulisseau ; on trace donc les angles β au-delà des angles de calage ; en C et C', on élève les perpendiculaires CD et C'D', on obtient ainsi les excentriques rectifiés OD et OD'. Pour trouver l'excentrique fictif correspondant à une position déterminée du coulisseau, il suffit de diviser DD' dans le rapport où le coulisseau divise la coulisse et de joindre au centre O le point de division trouvé. La courbe des excentriques fictifs est la droite DD'. Si cette droite est, comme tel est le cas très général, perpendiculaire à la d. m. t., les avances sont constantes pour toutes les positions du coulisseau (§ 26).

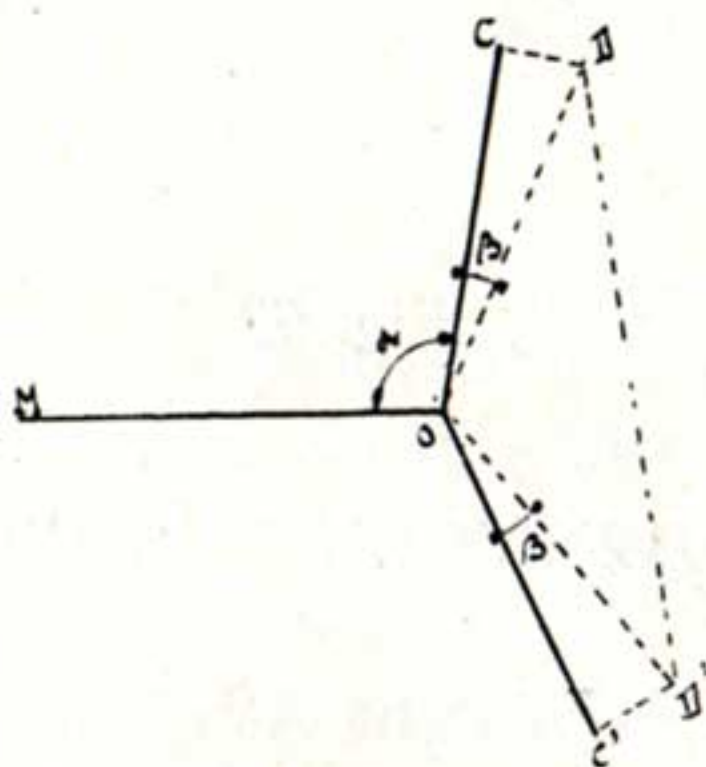


Fig. 63.

§ 31. — *Courbure de la coulisse.*

Mais il faut, pour cela, comme dans le cas de la coulisse Stephenson, que la forme de la coulisse ne vienne apporter aucun trouble dans les avances ; il suffit que, la manivelle étant au point mort, la coulisse reste immobile quand on déplace le coulisseau. Il faut pour cela : 1° que la coulisse ait, comme rayon, la longueur de la bielle de commande du tiroir ; 2°) que, dans ses positions d'avance, l'orientation de la coulisse soit telle que son centre de courbure se trouve à la crossette ; c'est-à-dire que les barres d'excentrique aient la même longueur.

§ 32. — *Angle d'oscillation de la coulisse.*

Appliquant la règle donnée au § 24, on voit :

1° que l'angle d'oscillation γ est constant, quelle que soit la position du coulisseau.

2° que cette oscillation est symétrique par rapport à la perpendiculaire à la d. m. t.

§ 33. — *Suspension de la coulisse.*

Ce que nous avons dit à ce sujet à propos de la coulisse Stephenson reste en situation ici. La bielle de suspension doit, dans la position moyenne entre ses positions d'avance, être perpendiculaire à la d. m. t.

Position de l'arbre de relevage. — Quant à la bielle de relevage, l'arc de cercle décrit par son extrémité supérieure doit correspondre (§ 25) à celui décrit par l'extrémité inférieure dans sa position moyenne entre avances, ce qui nécessiterait la position de l'arbre de relevage au droit de la crosse, celle-ci étant dans sa position moyenne entre ses positions d'avance ; mais ici aussi le levier de l'arbre de relevage est généralement raccourci et on se trouve ramené au cas envisagé précédemment dans la coulisse Stephenson.

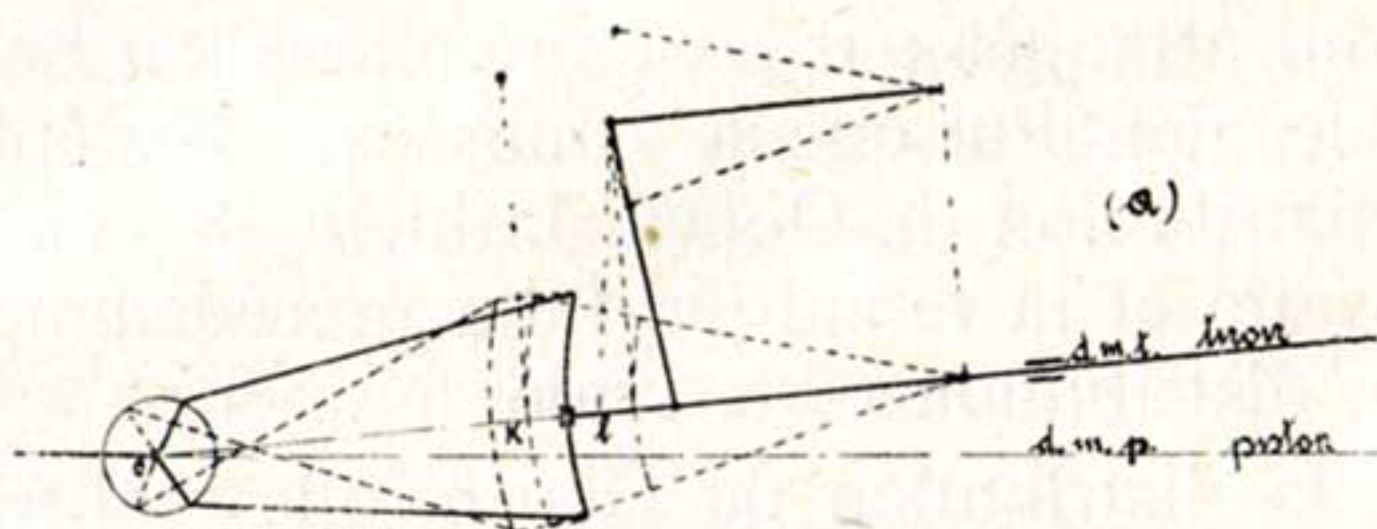


Fig. 64.

Cette distribution, toutes choses égales, est plus longue que la Stephenson ; mais les pièces mobiles sont plus légères, ce qui évite l'emploi d'un contrepoids. Les avances sont constantes.

§ 34. — 3) *Distribution par coulisse d'Allan.*

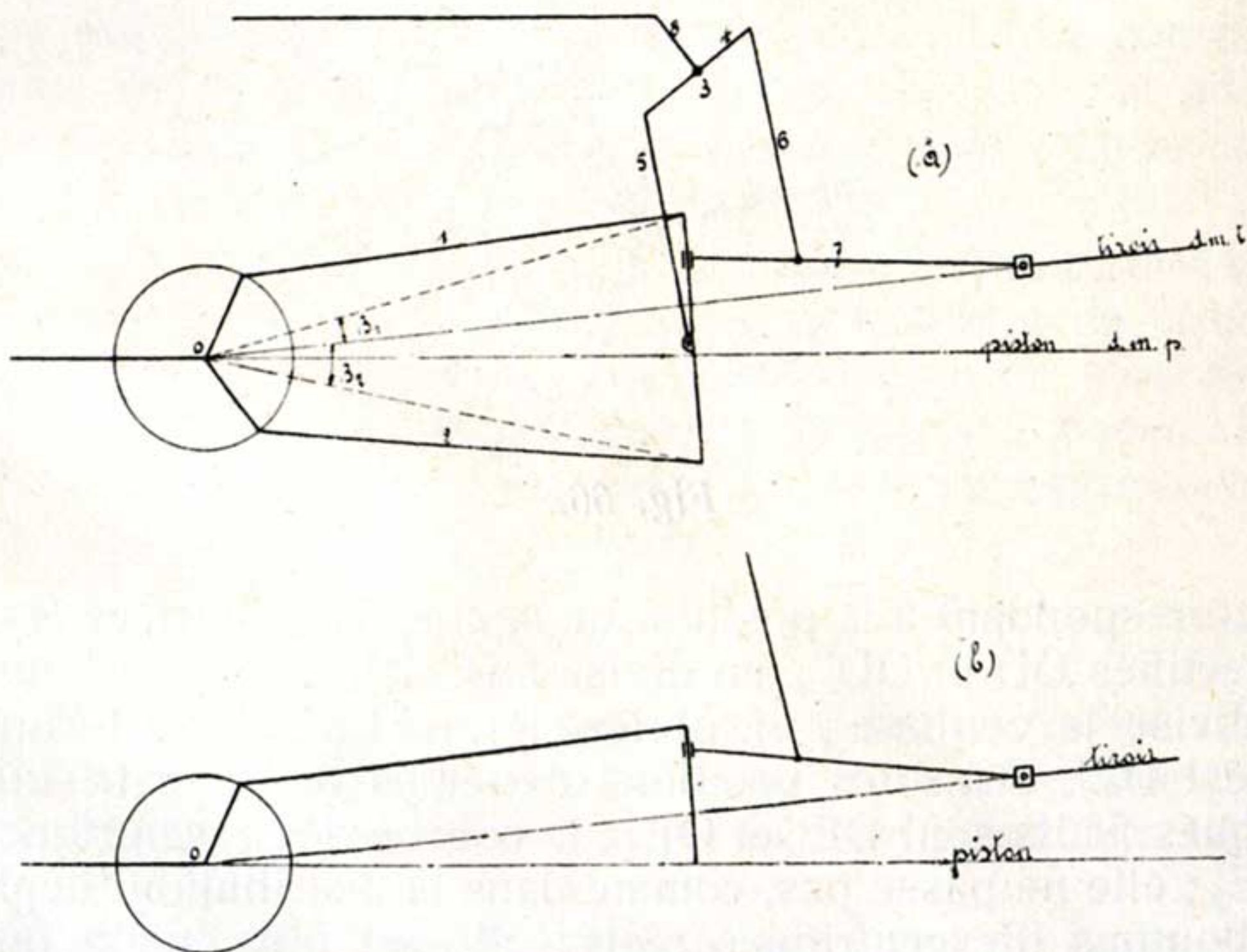


Fig. 65.

DENOMINATION DES ORGANES.

1. Barre d'excentrique de marche AV.
2. Barre d'excentrique de marche AR.
3. Arbre de relevage.
4. Balancier de relevage.
5. Bielle de relevage de la coulisse.
6. Bielle de relevage du coulisseau.
7. Bielle de commande du tiroir.
8. Levier d'attaque de l'arbre de relevage.

La distribution d'Allan peut-être considérée comme intermédiaire des deux précédentes : la coulisse et le coulisseau se déplacent simultanément ; ces deux organes, qui se meuvent toujours en sens inverse l'un de l'autre, sont attaqués par les extrémités d'un balancier (4) calé sur l'arbre de relevage. Puisque le coulisseau se déplace en hauteur comme dans la distribution de Gooch, la bielle de commande du tiroir est encore nécessaire et la remarque faite précédemment à propos de la longueur de la distribution reste vraie.

De même que la distribution de Gooch, elle réalise un mécanisme cinématique plus complexe que la Stephenson. (fig. 65 b.)

§ 35. — *Courbe des excentriques fictifs.*

Elle se trace d'après la règle donnée au § 22 ; pour trouver l'excentrique fictif correspondant à une position quelconque de la distribution, on ajoute (si les barres sont droites) aux angles de calage les angles

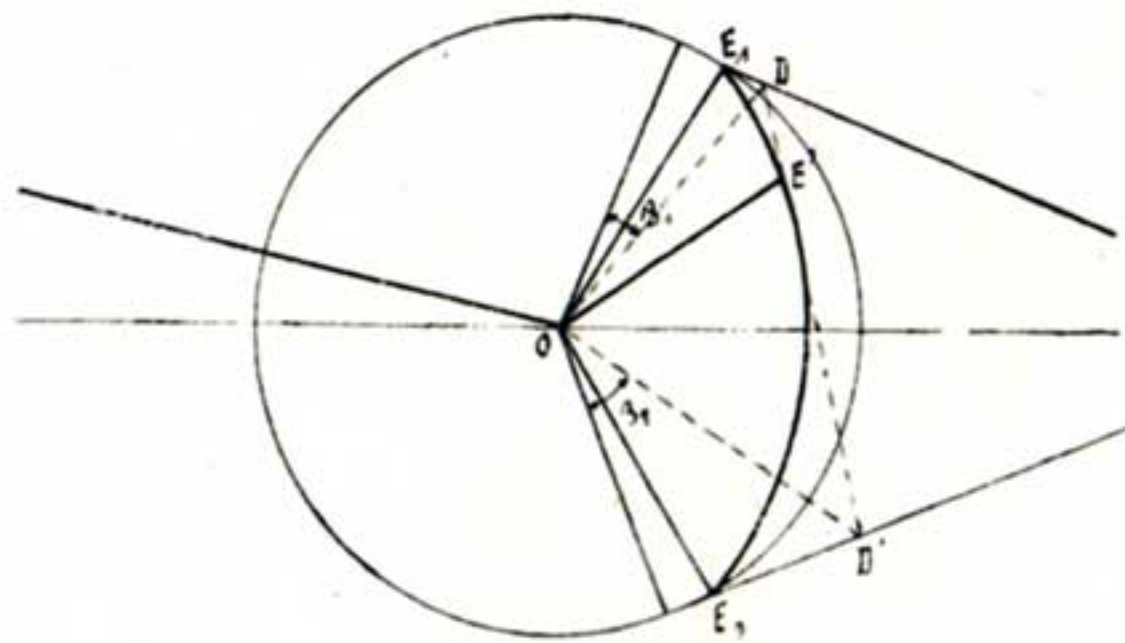


Fig. 66.

β_1 et β_2 correspondant à la position de la coulisse ; on trace les excentriques rectifiés OD et OD' ; on divise DD' dans le rapport où le coulisseau divise la coulisse ; on obtient le point E' ; l'excentrique fictif cherché est OE'. Dans les positions extrêmes de la distribution, les excentriques fictifs sont OE₁ et OE₂ ; la courbe des excentriques fictifs est E₁E'E₂ ; elle ne passe pas, comme dans la distribution Stephenson, par les boutons d'excentriques réels ; elle est plus aplatie que dans cette dernière coulisse ; les avances varient comme dans celle-ci, mais

leur variation est plus faible (ceci pouvait se prévoir d'après la remarque faite plus haut que la distribution Allan participe aux deux précédentes).

Pour le tracé de la courbe, il suffit de placer la distribution dans ses positions extrêmes et dans sa position au point mort ; de relever les angles β et les positions du coulisseau correspondantes et d'appliquer la méthode générale de recherche des excentriques fictifs ; par les trois points ainsi trouvés, on fait passer un arc de cercle. En réalité, la courbe est encore une parabole ; mais son équation, donnée par Zeuner, est plus compliquée que dans le cas de la coulisse Stephenson ; il est sans intérêt pratique de donner la valeur du rayon de courbure à son sommet .

La méthode de Fliegner indiquée au § 22 pour trouver, la courbe des excentriques fictifs étant tracée, les positions correspondantes du coulisseau et de l'excentrique fictif, est applicable dans la distribution Allan comme dans le cas de la coulisse Stephenson.

§ 36. — *Angle d'oscillation de la coulisse.*

La règle donnée au § 24 montre que, d'après la position du coulisseau dans la coulisse :

- 1° l'angle d'oscillation γ varie.
- 2° l'orientation de l'axe d'oscillation se modifie.

§ 37. — *Courbure de la coulisse.*

Si on ne déplaçait que la coulisse, comme dans la distribution Stephenson, il faudrait, pour que les avances puissent être constamment égales, à l'avant et à l'arrière, qu'elle soit courbée suivant un arc de cercle de rayon égal à la longueur des barres d'excentriques et que le centre de courbure se trouve au droit de l'essieu.

Si on ne déplaçait que le coulisseau, la courbure devrait être orientée en sens inverse, le rayon de celle-ci ayant la longueur de la bielle de commande du tiroir. On conçoit qu'il soit possible de faire un choix judicieux des éléments de la distribution de façon à pouvoir utiliser une coulisse droite tout en maintenant l'égalité nécessaire entre les avances à l'avant et à l'arrière du tiroir.

§ 38. — *Suspension de la coulisse.*

Il faut, pour que l'égalité cherchée existe, que le milieu entre les positions d'avance de la crosse de tiroir reste invariable. Il suffit donc de rechercher les conditions qui permettent d'obtenir cette immobilité.

Nous allons voir que c'est la position de l'arbre de relevage sur le balancier qu'il faut déterminer.

Dans la fig. 67, la droite FG est la position moyenne de la coulisse entre ses positions d'avance, quand le coulisseau est au point mort. Nous savons que lors de cette position moyenne, la distance OE est égale à l , longueur de la barre d'excentrique ; et que, lorsqu'on abaisse la coulisse, le point F décrit un arc de cercle de rayon l ayant O comme centre. Le point S est la position moyenne entre avances de la crosse.

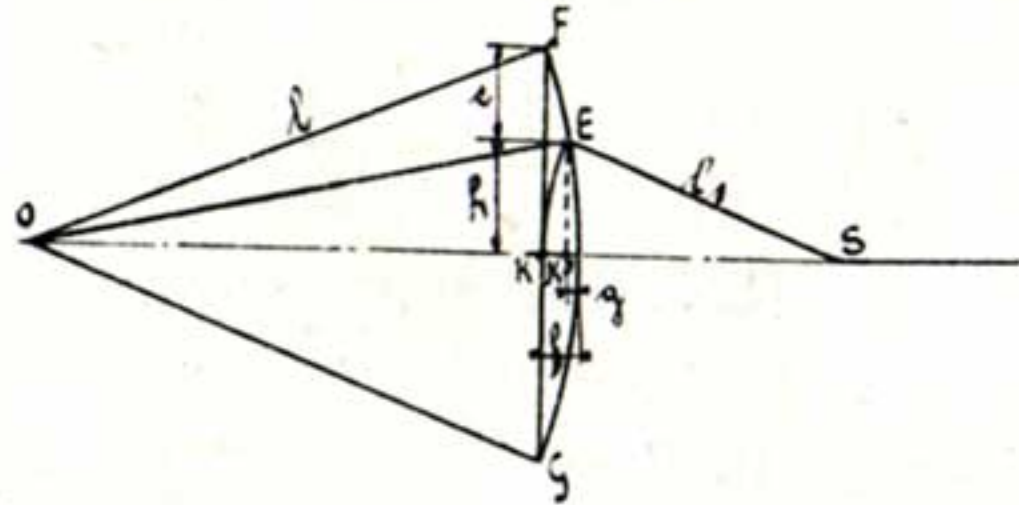


Fig. 67.

Supposons qu'on mette la coulisse à fond de course, marche AV ; on abaisse la coulisse de e et on relève le coulisseau de h . Quand on abaisse la coulisse de e , on pousse le point S vers l'avant de la quantité $(f-g)$; quand on relève le coulisseau de h , on ramène le point S vers l'arrière de la distance entre K' et le point K pied de l'arc passant par E, de rayon $ES = l_1$ (l_1 est la longueur de la bielle de commande du tiroir). Pour que le point S soit resté immobile quand on a placé la coulisse à fond de course (donc pour que l'égalité des avances à l'avant et à l'arrière soit maintenue), il faut qu'on ait : $KK' = f - g$.

Nous pouvons écrire, tous les arcs étant à faible flèche.

$$KK' = \frac{h^2}{2 l_1} ; \quad f = \frac{(e + h)^2}{2 l} ; \quad g = \frac{h^2}{2 l}$$

Condition à réaliser : $KK' = f - g$

ou

$$\frac{h^2}{2 l_1} = \frac{(e + h)^2}{2 l} - \frac{h^2}{2 l}$$

$$\frac{(e + h)^2}{h^2} = \frac{l + l_1}{l} = 1 + \frac{l_1}{l}$$

$$\frac{e + h}{h} = \sqrt{1 + \frac{l_1}{l}}$$

Cherchons le rapport entre la descente de la coulisse et la levée du coulisseau.

Posons $\frac{e + h}{h} = m.$

Nous en tirons : $e + h = mh$; $e = h(m - 1)$; $\frac{e}{h} = m - 1,$

donc aussi $\frac{e}{h} = \sqrt{1 + \frac{1}{l_1}} - 1$

Tel serait le rapport des deux bras du balancier si le coulisseau était commandé directement par la bielle de relevage ; on sait que tel n'est pas le cas et que c'est la bielle de commande du tiroir qui est attachée (fig. 64) ; quand le coulisseau se déplace de h , le point d'attaque se déplace de $h \times \frac{l_2}{l_1}$. Dès lors, le rapport des bras du balancier devient :

$$\frac{a}{b} = \frac{e}{h \times \frac{l_2}{l_1}} = \frac{e}{h} \times \frac{l_1}{l_2} = \left(\sqrt{1 + \frac{1}{l_1}} - 1 \right) \frac{l_1}{l_2}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{l_2}{l_1 \left(\sqrt{1 + \frac{1}{l_1}} - 1 \right)} = \frac{l_2}{l_1} \frac{\left(\sqrt{1 + \frac{1}{l_1}} + 1 \right)}{\frac{1}{l_1}} = \frac{l_2}{1} \left(\sqrt{1 + \frac{1}{l_1}} + 1 \right)$$

Pour déterminer maintenant la longueur du balancier et la position de l'arbre de relevage, voici comment on procède. On trace, pour le cas de la distribution au point mort, les deux positions d'avances du

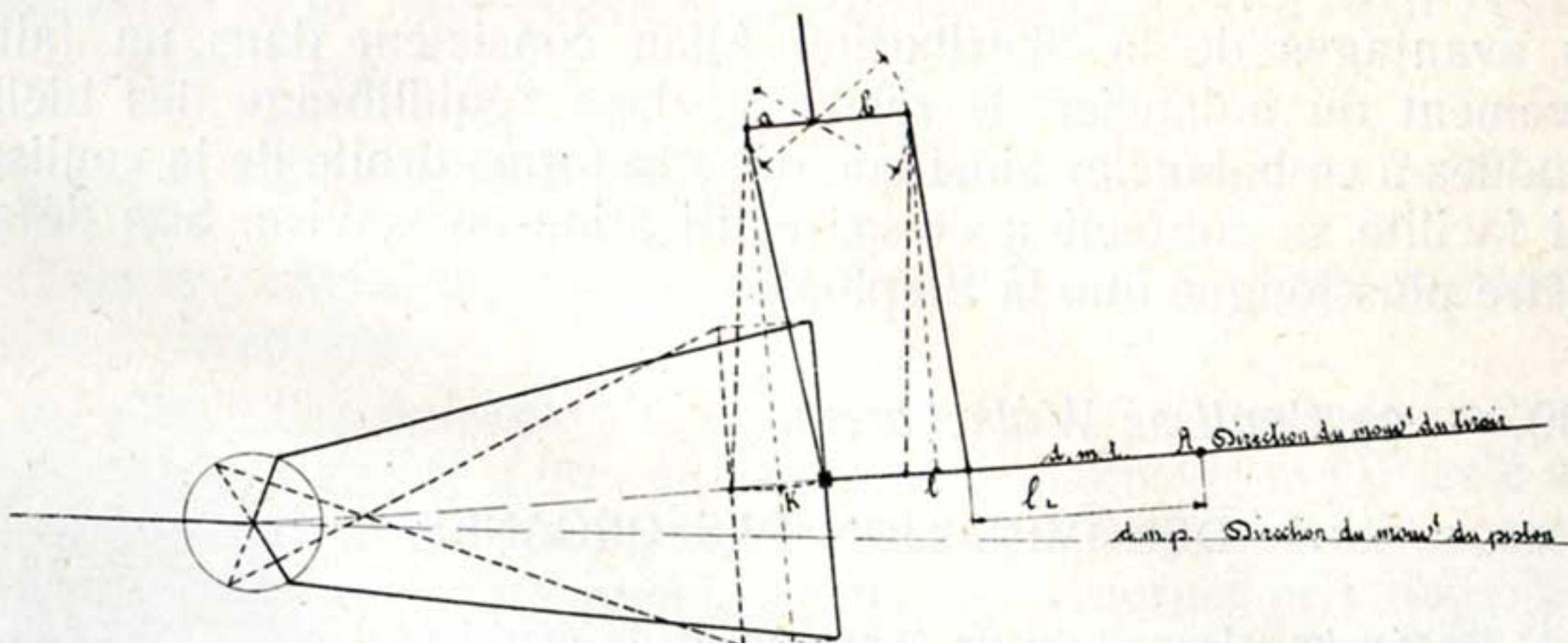


Fig. 68.

système. Par les points K et I, milieux entre les positions d'avance des points de suspension de la coulisse et de la bielle de commande du tiroir, on élève des perpendiculaires à la d. m. t. ; le balancier est

parallèle à cette direction et sa longueur est limitée par les 2 perpendiculaires ; on le divise dans le rapport $\frac{a}{b}$ pour obtenir la position de l'arbre de relevage. Si on désire que ce soit pour le cran de marche normal que la suspension soit le plus favorable, on place la distribution dans la position correspondante en faisant pivoter le balancier qu'on

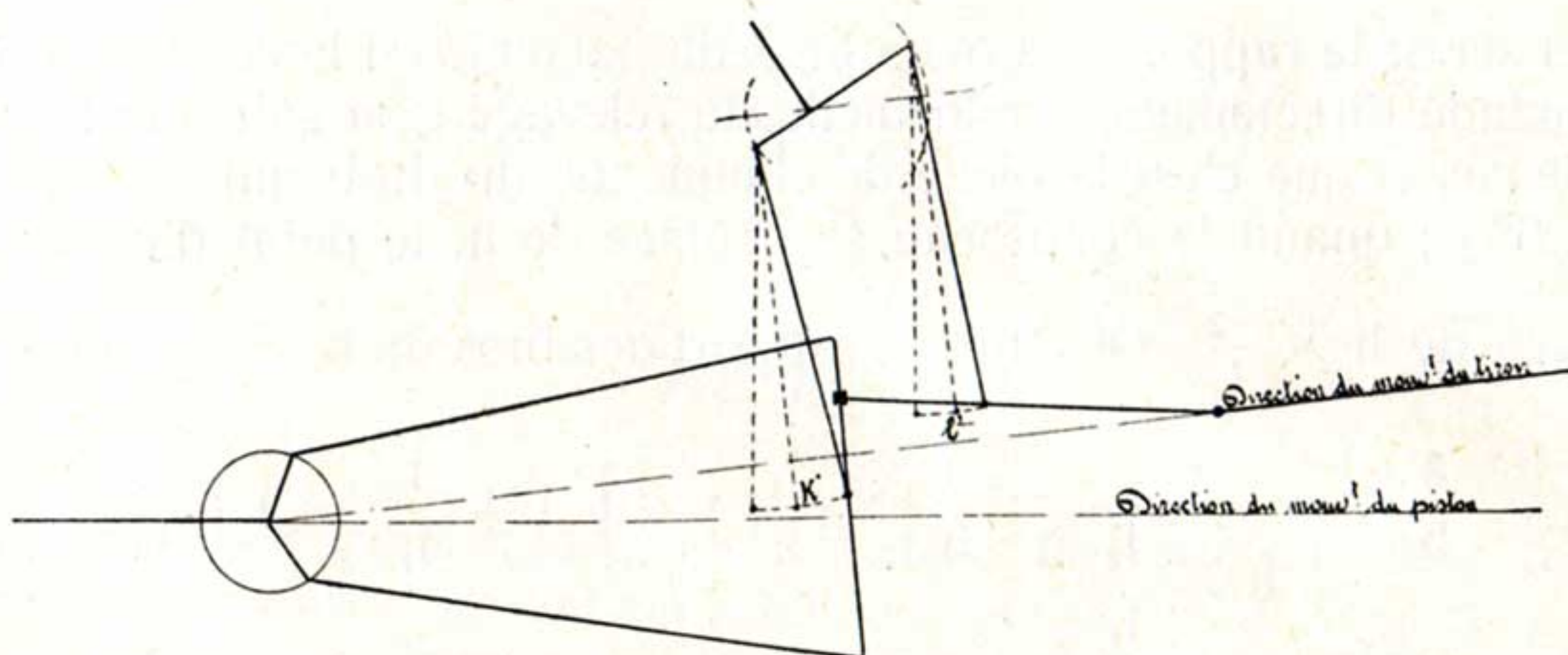


Fig. 69.

vient de déterminer autour de l'arbre de relevage ; on trace encore les deux positions d'avances ; on relève de nouveau par des perpendiculaires à la d. m. t., les points K' et l', milieux entre les positions d'avances des points de suspension et on limite par ces perpendiculaires la longueur du balancier incliné. Ainsi est déterminée la nouvelle longueur du balancier ; on rectifie la position de l'arbre de relevage en partageant le balancier dans le rapport $\frac{a}{b}$.

Les avantages de la distribution Allan consistent dans un faible déplacement du balancier de relevage, dans l'équilibrage des bielles suspendues à ce balancier ainsi que dans la forme droite de la coulisse, ce qui facilite sa confection et sa rectification en service. Son défaut est d'être plus longue que la Stephenson.

§ 39. — 4) Coulisse Walschaerts.

DENOMINATION DES ORGANES.

1. Barre de relevage ou de changement de marche.
2. Arbre de relevage.
- 3-4. Leviers de l'arbre de relevage.
5. Bielle de relevage.
6. Bielle de commande du tiroir.
7. Levier d'avance.

8. Bielle de commande du levier d'avance.
9. Meneuse.
10. Bielle motrice.
11. Coulisse.
12. Axe d'oscillation de la coulisse - coulisseau.
13. Bielle d'excentrique.
14. Tige de tiroir.

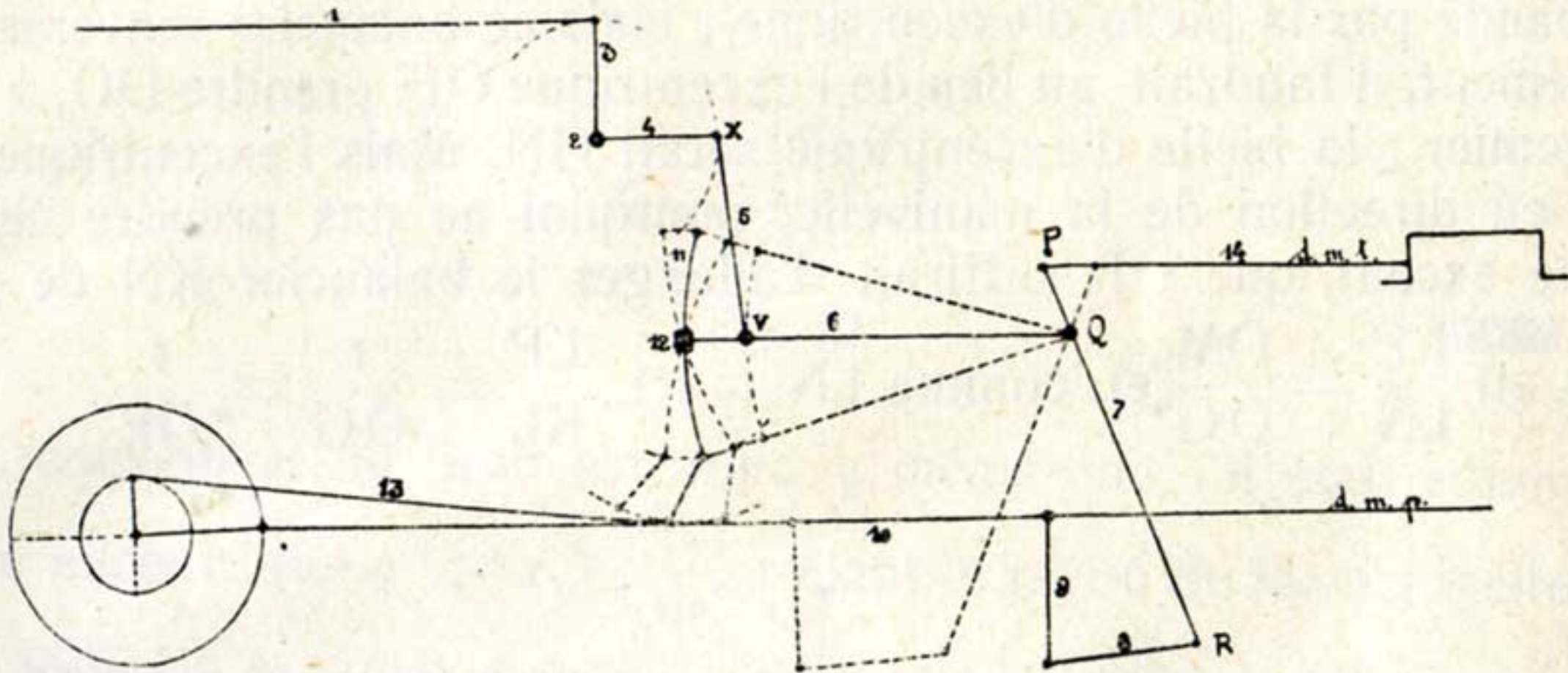


Fig. 70.

La distribution par coulisse Walschaerts ne comporte qu'un seul excentrique calé généralement à 90° de la manivelle. Une seule bielle d'excentrique attaque l'extrémité d'une coulisse oscillant autour de son milieu. Les oscillations de la coulisse sont transmises en un point Q du levier d'avance 7. D'autre part, l'extrémité inférieure R de ce levier est reliée à la crosse de piston ; les déplacements de R et de la crosse sont approximativement les mêmes. Les mouvements transmis par l'excentrique au point Q du levier, et par le piston au point R, se composent en un mouvement résultant transmis au tiroir par l'extrémité P du levier d'avance.

§ 40. — *La coulisse Walschaerts dérive de la coulisse de Gooch.*

C'est la coulisse de Gooch modifiée de façon à ne nécessiter qu'une bielle d'excentrique.

En effet ; l'excentrique OC peut être considéré comme résultant des excentriques OE calé à 90° , en avant de la manivelle et OF calé à 180° . De même, OC' est la résultante de OE' et OF. Ces deux excentriques OC et OC' peuvent être remplacés par trois autres pris deux à deux, savoir OE, OE', OF. Pour la marche AV, on utiliserait OE et OF ; pour la marche AR, OE' et OF. Pour passer de l'une à l'autre, il suffirait donc de remplacer l'excentrique OE par OE'. Or, rien n'est plus simple, ces deux excentriques étant calés à 90° de la manivelle ; il suffit de conserver le premier, OE et, pour la marche AR, de faire

usage d'un renvoi (§ 13, 4°) ; ce renvoi, ce sera la coulisse ; pour servir de balancier, elle devra osciller autour de son milieu, rendu fixe.

L'excentrique OE va ainsi commander le point L, articulation de la tige de tiroir.

Pour faire agir l'excentrique OF, le plus simple, à première vue, est de faire usage d'un balancier à bras égaux KN, dont le milieu serait le point L ; la tige de tiroir serait articulée en K ; le point N serait commandé par la bielle d'excentrique ; mais ce balancier renversant le mouvement, il faudrait, au lieu de l'excentrique OF, prendre OG, à 180° du premier ; la bielle d'excentrique serait GN. Mais l'excentrique OG étant en direction de la manivelle, pourquoi ne pas prendre celle-ci comme excentrique ? Il suffirait d'allonger le balancier KN de sorte qu'on ait $\frac{LP}{LN} = \frac{OM}{OG}$ et, comme $LN = KL$, $\frac{LP}{KL} = \frac{r}{OG} = \frac{r}{OF}$.

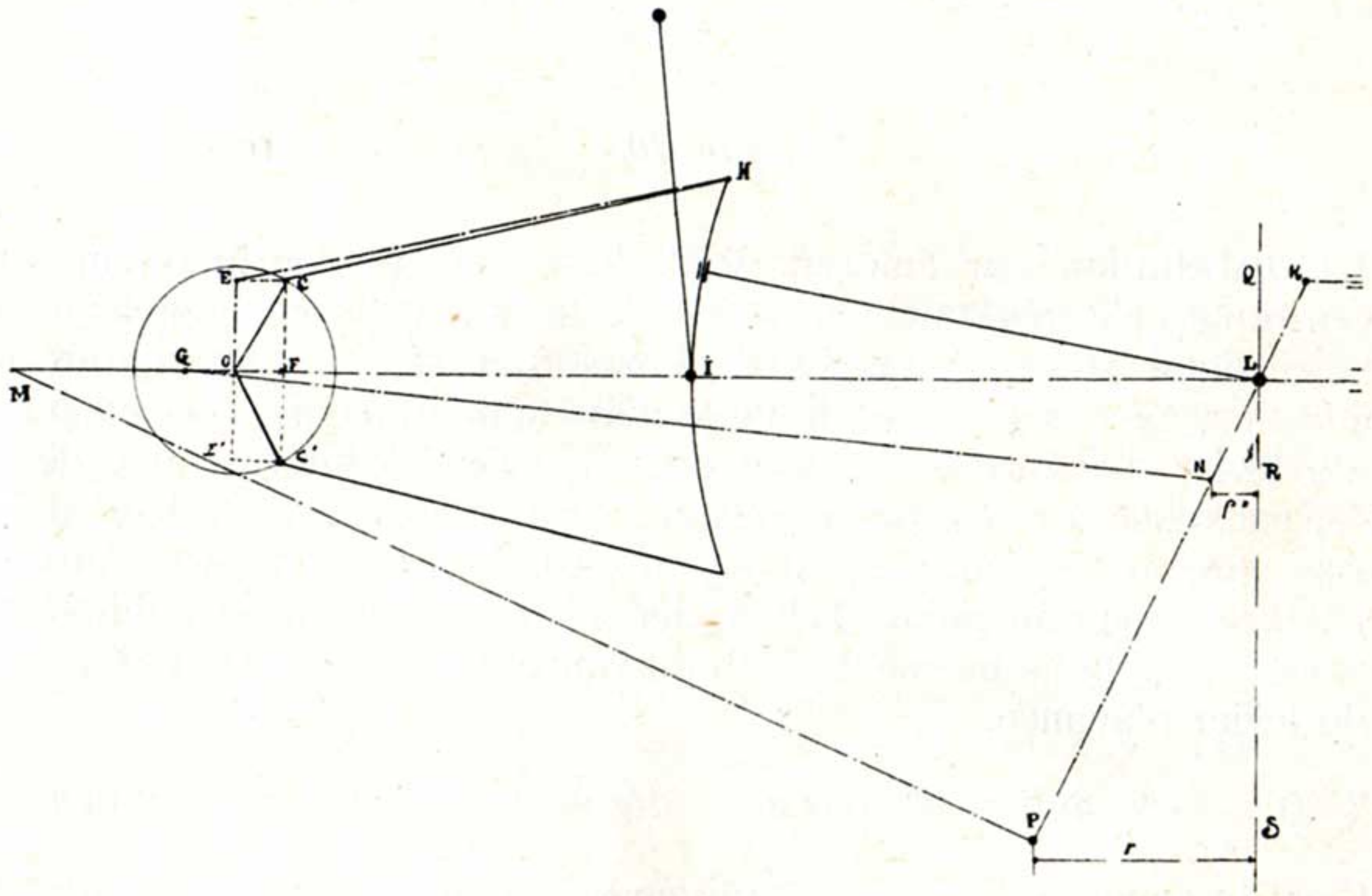


Fig. 71.

On remarquera aussitôt qu'on pourra supprimer la bielle MP en commandant le point P par la crosse, toute proche ; la distribution Walschaerts, sera ainsi réalisée.

On peut déjà en conclure qu'avec la coulisse « Walschaerts », comme avec la coulisse de « Gooch », les avances linéaires sont constantes.

§ 41. — *Courbe des excentriques fictifs. — Angle d'oscillation de la coulisse.*

Le mouvement du piston est transmis au tiroir de telle sorte que les chemins parcourus sont entre eux dans le rapport constant des deux segments du levier d'avance.

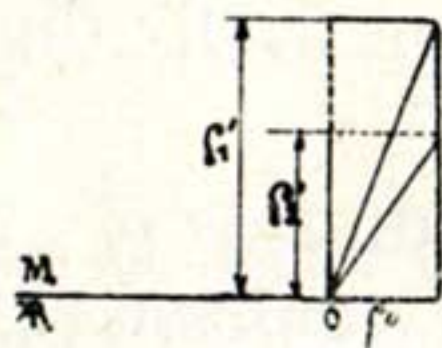


Fig. 72.

Le mouvement du tiroir est donc le même que s'il était commandé par un excentrique $e'' = r \times \frac{n}{m}$, r étant le rayon de la manivelle motrice. Puisque le levier d'avance renverse la direction du mouvement, cet excentrique fictif e'' doit être considéré comme se trouvant à 180° en avant de la manivelle. Pour la position de celle-ci à son point mort AR, l'excentrique e'' doit avoir la position indiquée ci-dessus.

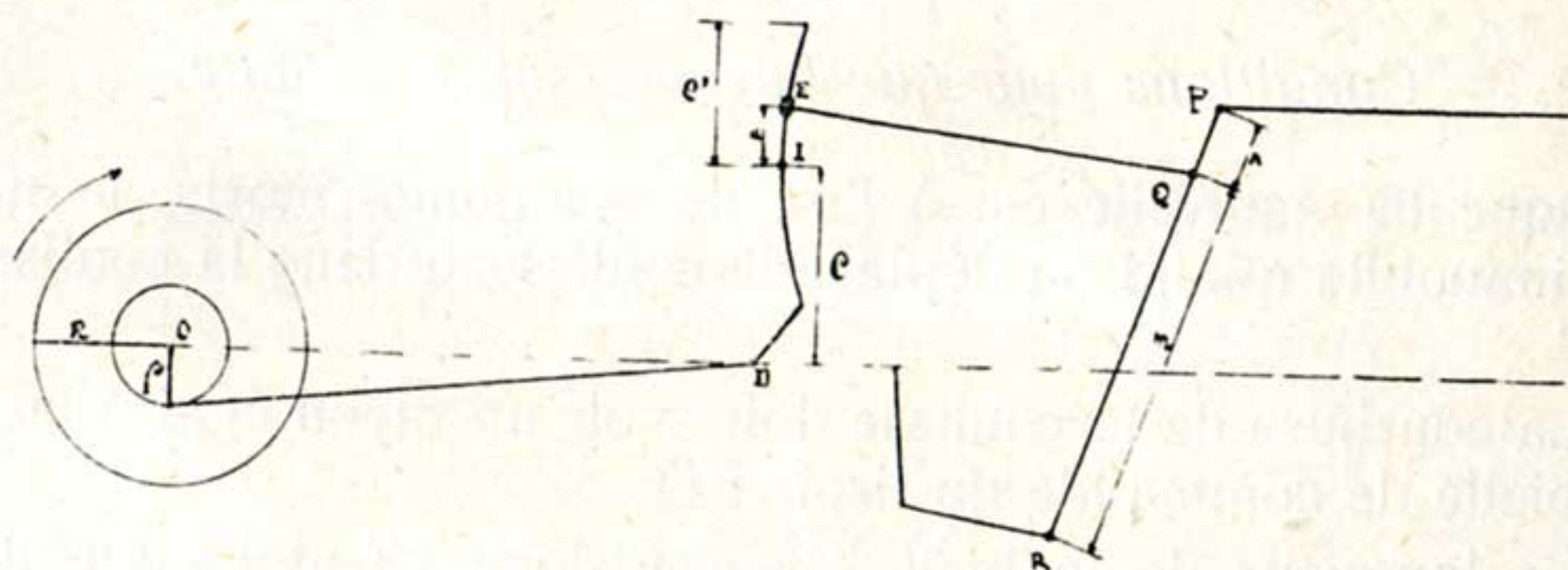


Fig. 73.

Quant au mouvement provenant de l'excentrique réel et de la coulisse, qui est transmis au point Q, son amplitude est réduite par la coulisse dans le rapport $\frac{u}{c}$. Ce mouvement de Q transmis à la tige de tiroir s'amplifie dans le rapport $\frac{m+n}{m}$. On voit donc que le tiroir est, de ce fait, commandé par un second excentrique fictif $e' = e \times \frac{u}{c} \times \frac{m+n}{m}$, de même direction que l'excentrique réel et, dans le cas de

la figure, de sens opposé (puisque la coulisse, faisant office de renvoi, renverse le mouvement); cette excentricité est variable suivant la valeur de u ; elle est maximum et égale à ϱ'_1 pour $u = c'$; pour $u = 0$, c'est-à-dire lorsque le coulisseau est au milieu de la coulisse, $\varrho' = 0$.

La composition des deux excentriques ϱ'' (constant) et ϱ' (variable) donne les excentriques fictifs résultants. La courbe de ces excentriques est une droite, comme dans la coulisse de Gooch; elle est perpendiculaire à la manivelle ou plutôt à OD (fig. 73 et 75); l'avance linéaire est donc constante.

La valeur de celle-ci se déduit de ϱ'' . Si, en effet, on place le coulisseau au point mort de la coulisse, l'excentrique fictif résultant se réduit à ϱ'' ; la course du tiroir est alors minimum et égale à $2\varrho'' = 2(e + a)$, e étant le recouvrement extérieur et a l'avance constante à l'admission.

$$a = \varrho'' - e = r \times \frac{n}{m} - e.$$

L'angle γ l'oscillation de la coulisse (§ 24) est donné approximativement par la relation $\sin \gamma = \frac{\varrho}{c}$. Il est donc constant à toutes les admissions. L'oscillation est toujours symétrique par rapport à la position d'avances.

§ 42. — Conditions pour que l'avance soit constante.

Lorsque la manivelle est à l'un de ses points morts, le tiroir doit rester immobile quand on déplace le coulisseau dans la coulisse; pour cela :

1° La courbure de la coulisse doit avoir un rayon égal à la longueur de la bielle de commande du tiroir EQ.

2° La longueur de la bielle d'excentrique 13 et l'angle de calage doivent être tels que la courbure de la coulisse ait pour centre le point Q lorsque la manivelle est à ses points morts. (C'est cette position de la coulisse que nous appelons sa position moyenne ou position d'avance.)

§ 43. — Point d'attaque D de la coulisse.

La coulisse doit, pendant un tour de manivelle, dévier de chaque côté de sa position moyenne (correspondant aux 2 points morts de la manivelle) d'angles égaux ou différant le moins possible, de façon que les largeurs maxima de lumières découvertes, en avant et en arrière du tiroir, soient approximativement les mêmes.

Si le point D se trouvait sur la verticale élevée en I sur la droite IQ, ces angles seraient très différents. Les conditions sont meilleures quand

le point D est reporté en arrière, du côté de l'excentrique, car ainsi l'effet de l'obliquité de la bielle d'excentrique s'atténue ou peut même disparaître.

Supposons un instant que le point D, fixé approximativement, se déplace suivant une ligne droite OD.

Les écarts de D entre sa position d'avance et ses positions extrêmes seront inégaux du fait de l'obliquité de la bielle l.

L'écart à l'arrière sera $l - l(1 - \cos \alpha)$; à l'avant, ce sera $l + l(1 - \cos \alpha)$.

Mais D ne se déplace pas en ligne droite ; il décrit un arc de cercle ayant l'axe d'oscillation de la coulisse comme centre.

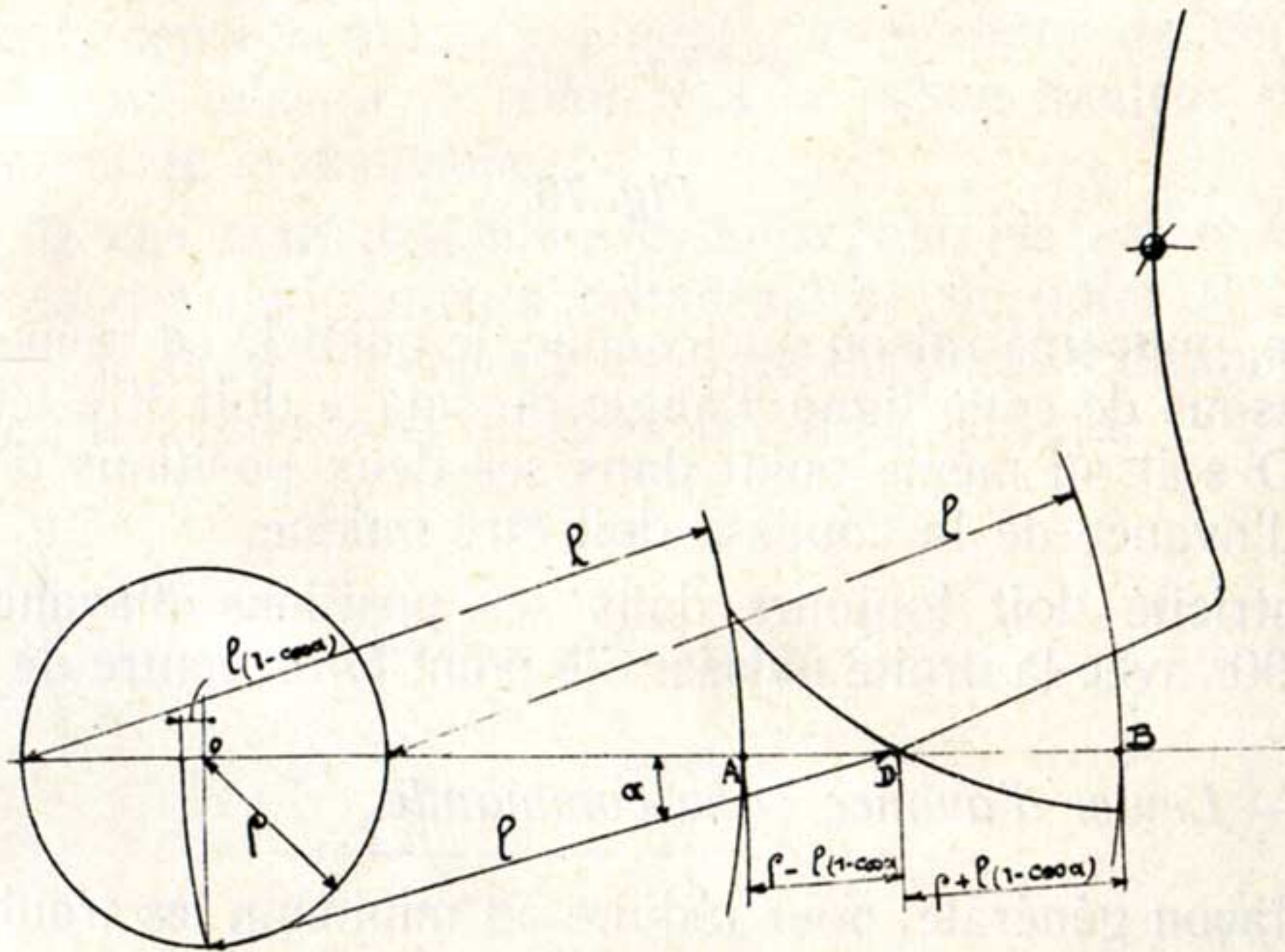


Fig. 74.

Il suffit donc de décrire deux arcs de cercles de rayon l, passant par A et B ; de tracer, sur un papier calque, un arc de rayon égal à la distance approximative de l'axe d'oscillation de la coulisse au point d'attaque D ; de déplacer ce calque de façon :

1° que l'arc passe par D ; 2° que les deux segments interceptés par les arcs A et B soient égaux ; l'orientation de l'arc décrit par le point D donnera son centre ; c'est-à-dire, la position obligée de l'axe d'oscillation de la coulisse. Généralement, on sera amené à déplacer la coulisse ; on observera la nouvelle valeur de α et on recommencera l'opération jusqu'à ce qu'on ait obtenu une solution satisfaisante.

§ 44. — *Angle de calage de l'excentrique.*

En principe, cet angle est de 90° , mais il faut, pour cela, que le point D, d'attaque de la coulisse, dans la position d'avance de celle-ci, se trouve sur la ligne des points morts de la manivelle.

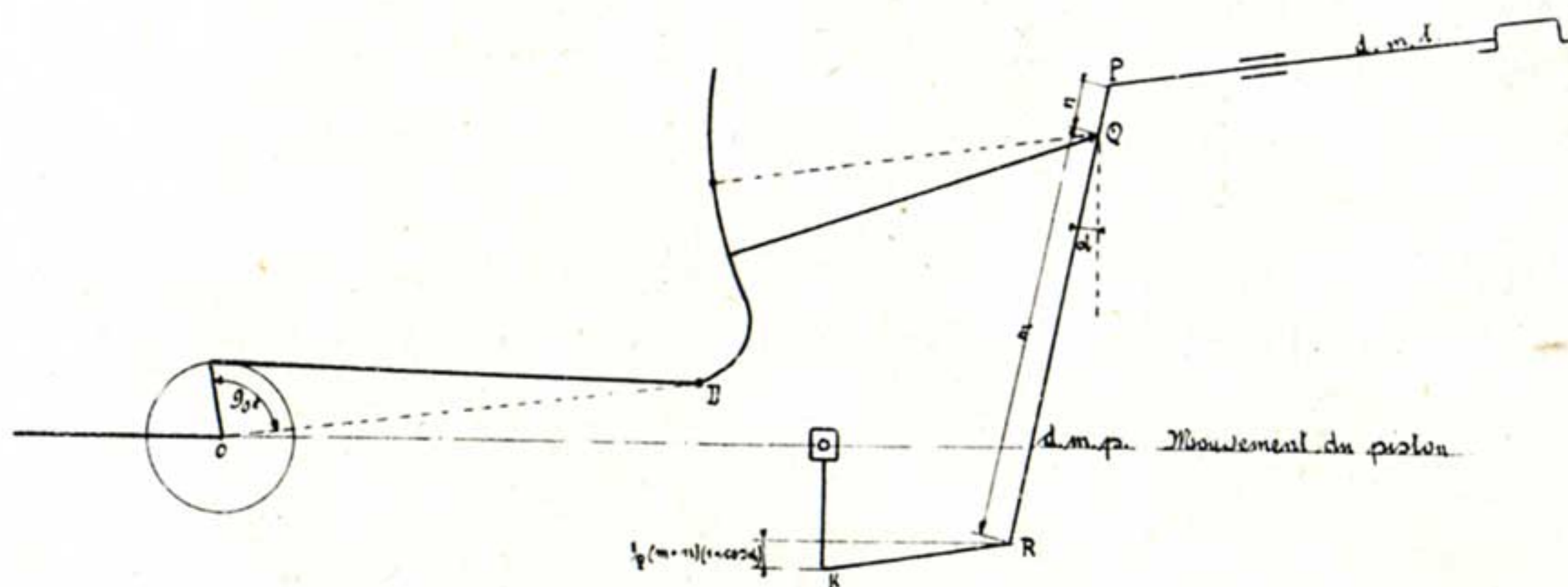


Fig. 75.

Lorsque, pour une raison quelconque, le point D se trouve au-dessus ou au-dessous de cette ligne, l'angle de calage doit être tel que l'articulation D soit au même point dans ses deux positions d'avance ; la position d'avance de la coulisse doit être unique.

L'excentricité doit toujours dans ses positions d'avance faire un angle de 90° avec la droite unissant le point D au centre de l'essieu.

§ 45. — *Levier d'avance et sa commande.*

D'une façon générale, pour réduire au minimum les troubles dans la distribution, on doit faire toutes les tiges le plus longues possible.

Ainsi l'extrémité R du levier d'avance doit être, dans sa position extrême vers la droite, le plus rapprochée possible, du cylindre. De même m doit être pris aussi grand que le permet la hauteur minimum admissible au-dessus du rail. Il faut d'ailleurs obtenir une longueur réalisable pour n . Rappelons qu'on a la relation $\frac{n}{m} = \frac{e'}{r} = \frac{e+a}{r}$.

Pour compenser les effets de l'obliquité de la bielle de commande KR, on choisit le point K de manière que, la manivelle étant au point mort, et menant par K une parallèle à la d. m. t., le point K se trouve à la distance $\frac{1}{2} (m+n) (1 - \cos. \alpha)$ au-dessous de cette parallèle ; α est l'obliquité du levier d'avance sur sa position moyenne lorsque la manivelle se trouve à l'un de ses points morts. On voit, en effet, que lorsque le levier se trouve dans sa position moyenne, la dénivellation de J est de $h = m + n - (m + n) \cos. \alpha = (m + n) (1 - \cos. \alpha)$.

Le point K, obtenu comme il vient d'être indiqué, se trouve ainsi à mi-hauteur entre R et S. L'effet de l'obliquité de la bielle de commande du levier d'avance est ainsi également réparti.

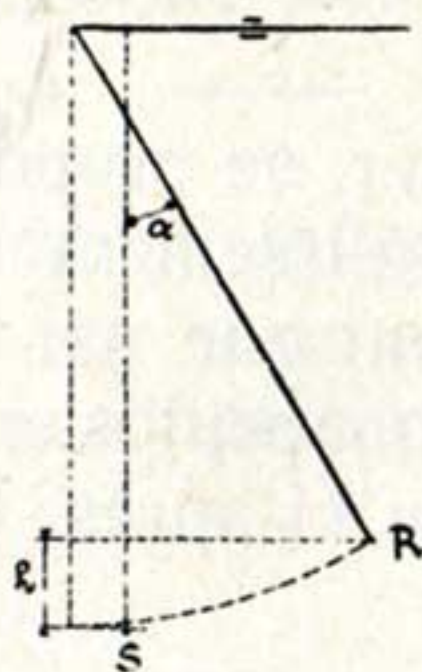


Fig. 76.

Souvent, cependant, on ne tient pas compte de cette obliquité ; on se contente d'avoir le point R à la même hauteur pour les deux points morts de la manivelle.

Dans le cas d'admission au cylindre par les arêtes intérieures du tiroir (cas des distributeurs cylindriques), le point P de commande de la tige de tiroir est reporté en deça du point d'attaque Q du levier d'avance ; le mouvement du tiroir est ainsi renversé.

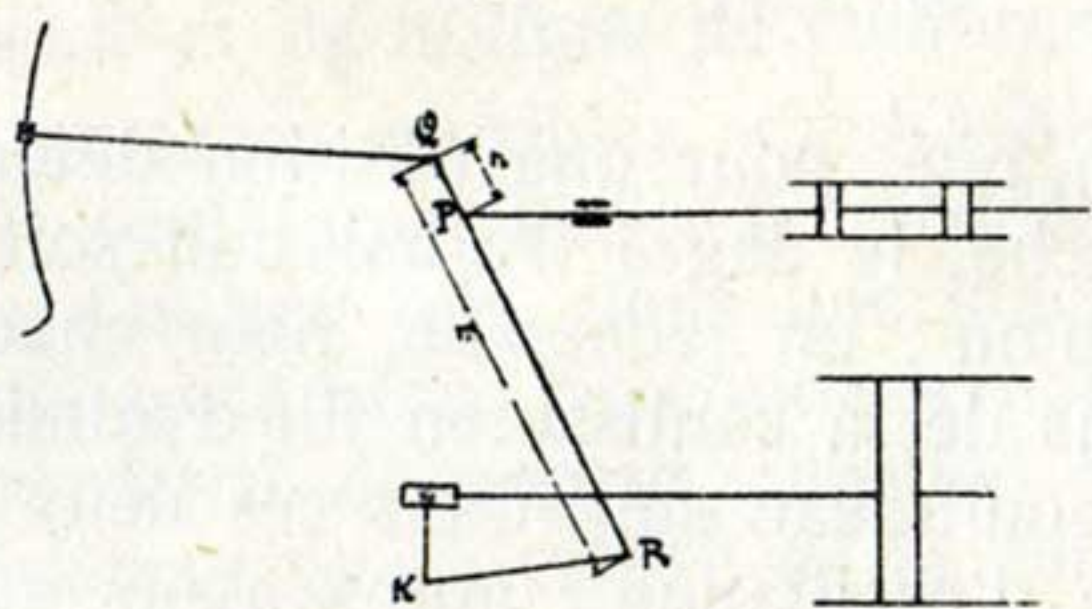


Fig. 77.

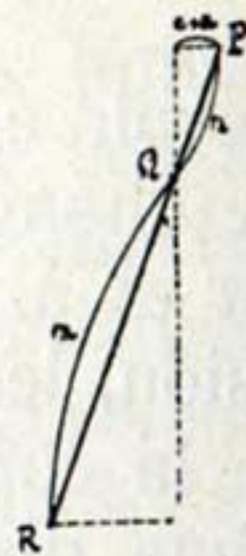


Fig. 78.

Il faut alors, dans les formules précédentes, remplacer n par $(-n)$, m et n gardant leur signification antérieure (longueurs prises à partir du point d'attaque du levier d'avance).

Remarques. — En ce qui concerne la position du levier d'avance, remarquons :

1° que, pour toute admission, sa position d'avance est invariable ; le point P se trouve à la distance $e + a$ de sa position moyenne et le point R à l'une de ses positions extrêmes.

2° pour toute admission, le point P du levier d'avance commandant le tiroir se trouve toujours au même endroit en fin d'admission : à la distance e de sa position moyenne.

On se base sur cette 2° propriété lors de la vérification d'un projet de distribution (§ 91).

§ 46. — *Arbre de relevage.*

Dans les distributions étudiées jusqu'ici, la suspension était déterminée par la préoccupation qu'elle n'apporte aucun trouble dans l'égalité des avances. Avec la coulisse Walschaerts, la suspension est sans influence à ce point de vue.

On peut, pour la déterminer, se proposer un autre but, par exemple de réduire au minimum le glissement du coulisseau. Ce résultat ne peut être atteint complètement que par tâtonnements, lors de la vérification d'un projet ; mais on peut s'en rapprocher en une première approximation, par le moyen ci-après. On suppose (ce qui n'est pas

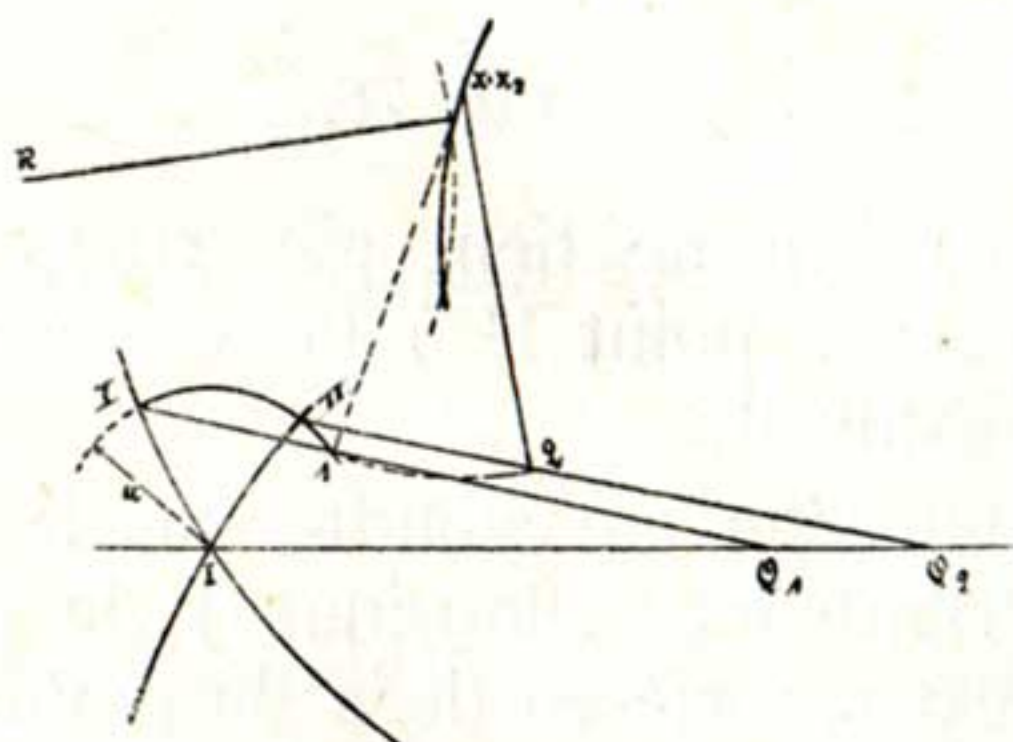


Fig. 79.

exact, revoir épure circulaire) que, pour une position déterminée du levier de changement de marche, le degré d'admission soit le même à l'avant et à l'arrière du piston ; on recherche, pour chaque degré d'admission, les deux positions de la coulisse en fin d'admission ; on s'impose la condition que le coulisseau soit, dans ces deux positions, à la même distance de l'axe d'oscillation ; après avoir adopté une certaine longueur arbitraire pour la bielle de relevage, on détermine les positions nécessaires du point de suspension de cette bielle. On verra, à propos du projet, qu'on obtient facilement ces positions de la coulisse en se basant sur la 2^{me} remarque du § 45.

La trajectoire du point de suspension de la bielle fixe la position obligée de l'arbre de relevage ; celle-ci se trouvera approximativement au droit du point d'attaque Q du levier d'avance. Comme la disposition du mécanisme ne permet pas, en général, d'adopter cette position, on se trouve réduit à admettre la solution déjà indiquée (voir notamment § 25) et à se placer dans les conditions les plus favorables aux admissions courantes.

DEUXIEME PARTIE.

Fonctionnement des distributions.

§ 47. — Dans le diagramme théorique ci-contre, représentant le travail sur une face du piston pour une course aller et retour, l_0 est l'espace nuisible à l'échelle adoptée pour le volume du cylindre. Il

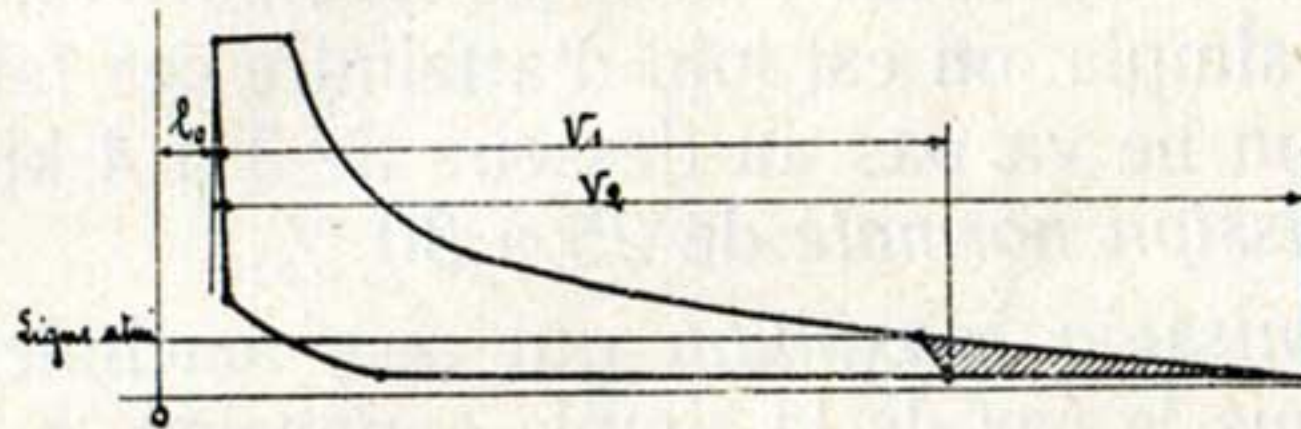


Fig. 80.

comprend le jeu entre le piston à son point mort et le couvercle du cylindre de même que la capacité des canaux par lesquels la vapeur est admise et échappée. Sa grandeur influe sur le tracé de la ligne de détente et de la ligne de compression.

Les surfaces nuisibles, c'est-à-dire les surfaces limitant l'espace nuisible sont importantes à considérer au point de vue des condensations. On sait que, dans une machine à vapeur saturée travaillant à simple expansion, les condensations peuvent accroître de 30 % la consommation de vapeur calculée d'après le diagramme. Il résulte d'expériences que les 9/10 de la condensation totale à l'admission se fait au contact des surfaces nuisibles.

Les condensations sont plus grandes avec la vapeur humide et avec des canaux servant alternativement à l'admission et à l'échappement. A ce dernier point de vue, les distributions par tiroir sont désavantageuses.

La surchauffe réduit cette action des surfaces nuisibles, mais ne la supprime pas complètement.

A. — Remarques sur les phases de la distribution.

1) De l'admission.

§ 48. — Degré d'admission de marche normale et degré d'admission maximum.

Au point de vue de l'économie de la vapeur, la détente devrait être poussée jusqu'à la pression d'échappement. Mais il en résulterait un

accroissement excessif du volume du cylindre de V_1 à V_2 ce qui présenterait de multiples inconvénients (prix de la machine, frottement des organes, poids des pièces à mouvement alternatif, condensation) ; l'économie de vapeur qui résulterait du gain de travail représenté par la partie hachurée du diagramme pourrait être dépassée par la dépense supplémentaire.

Alors que dans les machines fixes, où on vise à une marche très économique, la pression acceptée en fin de détente en marche normale est de 0,6 à 1 atmosphère au-dessus de la pression atmosphérique, si la machine est à échappement à l'air libre, de 0,6 à 1 atmosphère absolue s'il y a un condenseur ; dans les locomotives, où la distribution se fait par tiroir simple, on est loin d'atteindre ces faibles pressions de fin de détente ; on ne va pas au-dessous de 3 à 4 kilos ce qui correspond à une *admission normale* de 25 à 30 %.

Quant à l'*admission maximum* qui aux machines fixes est prise égale à 60 % dans le cas de la simple expansion, à 70 % au cylindre HP des machines Compound, elle est déterminée, dans les machines à changement de marche, par une considération spéciale : il faut que, lors des positions les plus défavorables des manivelles, la machine exerce un moment moteur suffisant pour pouvoir démarrer facilement dans un sens ou dans l'autre. La position la plus défavorable au démarrage est, dans le cas de machine à 2 cylindres (manivelles calées à 90°) celle où la première manivelle se trouve dans la position correspondant à la plus grande admission, (le piston reste alors sans vapeur) la deuxième manivelle, dont le piston reçoit la vapeur à pleine pression, est faiblement inclinée sur l'horizontale de sorte que le bras de levier sur lequel agit l'effort du piston est très petit ; dans les locomotives à simple expansion à 2 cylindres, on adopte une admission maximum de 75 %.

§ 49. — *Faut-il réaliser l'égalité des admissions à l'avant et à l'arrière du piston ?*

D'une façon générale, aux machines à faible volant, et à celles où la recherche de l'économie est poussée à l'extrême, on peut dire que cette égalité est nécessaire. Si les admissions sont inégales, la vitesse de rotation sera irrégulière ; la consommation de vapeur augmentera, car toute machine travaille le plus économiquement à une admission déterminée.

Mais dans les locomotives où le volant (poids du train) considérable assure une vitesse de rotation uniforme, et où l'économie n'est pas, comme dans les machines fixes, l'élément prédominant, il n'y a pas lieu d'attacher d'importance à une faible différence entre les admissions. C'est plutôt pour la régularité du tirage que cette égalité entre admissions à l'avant et à l'arrière est désirable.

§ 50. — *Chute de pression à l'admission.*

Il est désirable que le découvrément des lumières par le tiroir soit, à tout moment, mais surtout vers la fin de l'admission, le plus grand possible (afin d'éviter les effets du laminage). Dans ce but, il faudrait, conservant la même avance linéaire (§ 56), augmenter le plus possible la course du tiroir, (c'est-à-dire l'excentricité) et le recouvrement extérieur.

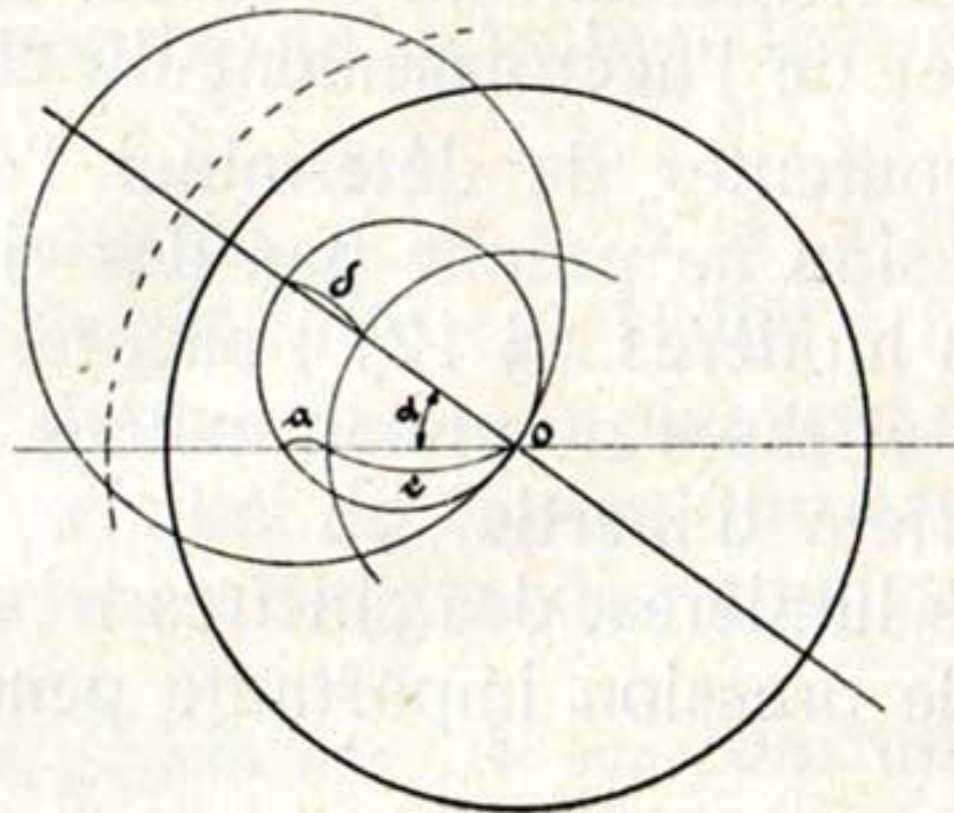


Fig. 81.

Car : $a = r \cos \alpha - e$

$$\delta = r - e$$

Si on modifie r et e , sans toucher à a , il vient : $a = r' \cos \alpha - e'$

$$\delta = r' - e'$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta'}{\delta} &= \frac{r' - e'}{r - e} = \frac{r' - r' \cos \alpha + a}{r - r \cos \alpha + a} = \frac{r' (1 - \cos \alpha) + a}{r (1 - \cos \alpha) + a} = \\ &= \frac{\frac{e' + a}{\cos \alpha} - e'}{\frac{e + a}{\cos \alpha} - e} \end{aligned}$$

Pour que δ' soit plus grand que a , il faut :

1° $r' (1 - \cos \alpha) + a > r (1 - \cos \alpha) + a$ ou $r' > r$

2° $\frac{e' + e}{\cos \alpha} - e' > \frac{e + a}{\cos \alpha} - e$

ou $e' (1 - \cos \alpha) + a > e (1 - \cos \alpha) + a$ où $e' > e$.

Mais on est limité dans cette voie :

1° avec les distributions Stephenson et Allan, la variation des avances peut devenir très grande aux différents crans de marche.

2° l'inégalité des découplements à l'avant et à l'arrière du tiroir s'accroît.

3° le glissement du coulisseau dans la coulisse est augmenté du fait des oscillations plus fortes de celle-ci.

4° les dimensions et le poids du tiroir et des organes de la distribution s'accroissent, et, si les vitesses sont grandes, les forces d'inertie atteignent des valeurs absolument inadmissibles.

5° enfin le travail de frottement du tiroir est augmenté du fait de la pression plus grande et de l'accroissement du chemin parcouru.

On doit donc se contenter de déterminer l'excentrique, de façon que la vapeur d'admission ne prenne pas des vitesses moyennes exagérées au passage des lumières (§ 12) ; encore, dans les locomotives, en raison des grandes vitesses de piston usitées, va-t-on plus loin ; en vue de réduire les effets d'inertie, on adopte, pour les vitesses de vapeur au passage des lumières, des chiffres très élevés (§ 82) acceptant ainsi une chute de pression importante pendant l'admission (fig. 106).

§ 51. — Pour juger des pertes de pression, il est indispensable de relever, en même temps que le diagramme du travail au cylindre, le diagramme des pressions à la chapelle (*).

La courbe a-a donne les variations de ces pressions pendant l'admission ; les différences de pression accusées servent à produire l'accélération de la vapeur dans les tuyaux d'amenée ; les différences produisant la vitesse de circulation dans les canaux sont indiquées par les hachures verticales : ce sont les distances entre les deux courbes ; la chute de pression commence en b. On voit qu'il peut y avoir perte par laminage pendant l'admission alors même que la courbe d'admission est horizontale.

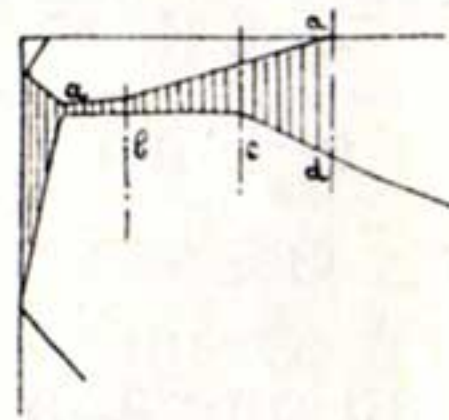


Fig. 82.

La fin d'admission a lieu en d, bien que d'après le diagramme, elle paraisse se produire en c.

A noter encore que vers la fin de l'admission la lumière se rétrécit de plus en plus ; par suite, les vitesses de vapeur (en supposant des admissions $< 50\%$) deviennent très grandes ; l'augmentation de vitesse du piston contribue encore à les accroître.

(*) Gutermuth-Zeitsch. d. Vereins deutscher Ingenieure (1905, page 271).

On verra, dans un prochain chapitre, l'avantage du tiroir à canal et d'autres tiroirs spéciaux à ce point de vue.

2) *De la détente.*

§ 52. — La *ligne de détente* coïncide assez exactement, pour la vapeur saturée, avec l'hyperbole équilatère de centre O. Avec les cylindres réchauffés et lors de l'emploi de vapeur sèche, l'exposant n de l'égalité $pV^n = \text{constante}$, est fréquemment plus grand que 1 dans la première moitié de la courbe de détente ; dans le cylindre BP, il est plus petit que 1.

Avec la vapeur surchauffée, $n = 1,05$ si la surchauffe est faible ; $n = 1,25$ si la surchauffe est forte (moyenne 1,15).

La ligne de détente s'abaisse d'autant plus que n est plus élevé ; c'est pourquoi, lorsqu'on fait emploi de vapeur surchauffée, il faut pour un même cylindre, adopter de plus grandes admissions.

Tracé de l'hyperbole équilatère $pV = \text{constante}$.

Unir l'origine (pression absolue O, origine de l'espace nuisible) au point B, d'ordonnée maximum et ayant pour abscisse $CD = \text{volume engendré par le piston au moment considéré}$. Prendre l'intersection F

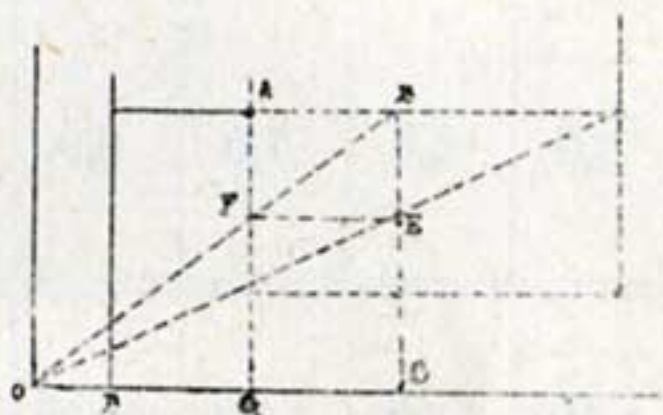


Fig. 83.

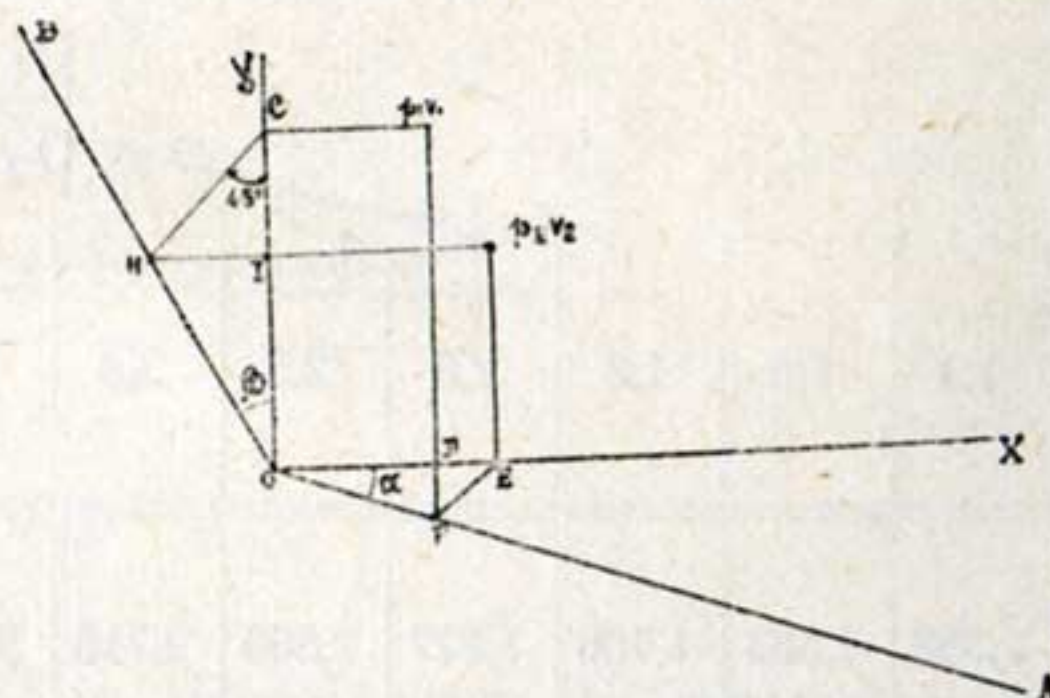


Fig. 84.

avec l'ordonnée du commencement de la détente ; on obtient ainsi l'ordonnée du point C et le point E correspondant de la courbe de détente.

Tracé de la courbe $pV^n = \text{constante}$.

Tracer avec l'axe des abscisses un angle XOA de grandeur quelconque α .

Déterminer l'angle YOB = β de façon que $1 + \text{tg } \beta = (1 + \text{tg } \alpha)^n$.

Du point de départ $p_1 V_1$, on trace l'horizontale et la verticale jusqu'à C et F.

De C, on trace CH à 45° sur YO.

De F, on trace FE à 45° sur OX.

Les points E et H déterminent un premier point $p_2 V_2$ de la courbe

En effet, $DF = DE = V_2 - V_1$ - $HI = IC = p_1 - p_2$

Or $\text{tg } \alpha = \frac{DF}{OD} = \frac{V_2 - V_1}{V_1}$ et $\text{tg } \beta = \frac{HI}{IC} = \frac{p_1 - p_2}{p_2}$ ou

$V_2 = V_1 (1 + \text{tg } \alpha)$ et $p_1 = p_2 (1 + \text{tg } \beta)$

$1 + \text{tg } \alpha = \frac{V_2}{V_1}$ d'où $p_1 = p_2 (1 + \text{tg } \alpha)^n = p_2 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$ et $p_1 V_1^n = p_2 V_2^n$.

Plus l'angle α est petit, plus les points trouvés sont rapprochés.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de $\frac{V_2}{V_1}$ en fonctions de $\frac{p_1}{p_2}$ pour diverses valeurs de n . Ne pas perdre de vue que V_1 et V_2 comprennent l'espace nuisibles et que p_1 et p_2 sont des pressions absolues.

VALEURS DE $\frac{V_2}{V_1}$															
n =	$\frac{p_1}{p_2} =$														
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
1,1	1,180	1,358	1,533	1,706	1,877	2,300	2,715	3,123	3,562	4,319	5,100	5,870	6,620	7,310	8,110
1,15	1,172	1,340	1,505	1,667	1,827	2,218	2,599	2,973	3,338	4,053	4,750	5,430	6,100	6,760	7,400
1,2	1,164	1,324	1,480	1,632	1,782	2,146	2,498	2,840	3,175	3,823	4,544	5,060	5,660	6,240	6,810
1,25	1,157	1,309	1,457	1,600	1,741	2,081	2,485	2,724	3,031	3,624	4,139	4,744	5,280	5,800	6,310
1,3	1,151	1,295	1,436	1,572	1,705	1,752	2,331	2,624	2,909	3,455	3,975	4,477	4,962	5,430	5,890

3) L'avance à l'échappement.

§ 53. — L'avance à l'échappement vise à obtenir, dès le changement de sens du piston, la plus faible contrepression possible (courbe d'échappement horizontale).

Toutes choses égales, plus grand est le nombre de tours, c'est-à-dire, plus élevée est la vitesse de rotation, et plus grande doit être l'avance à l'échappement.

Le diagramme (fig. 85) se rapporte à une locomotive roulant à 5 km. à l'heure.

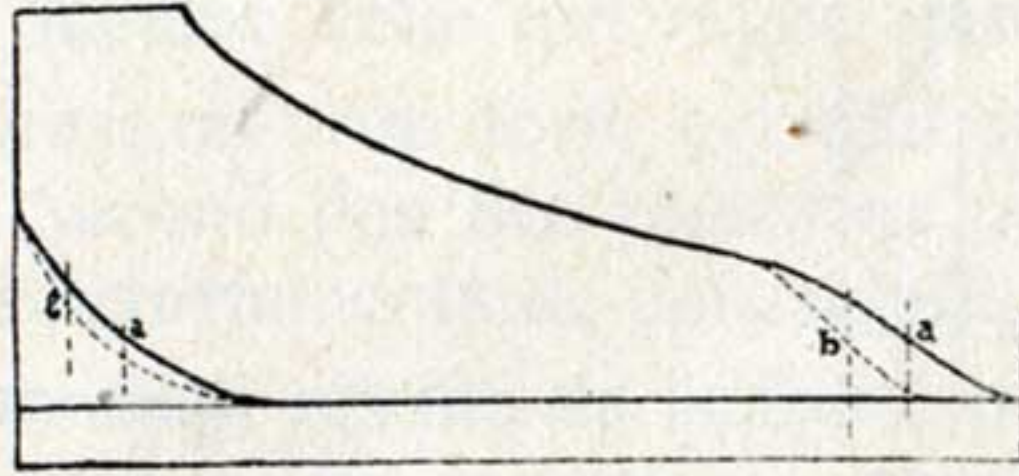


Fig. 85.

Avec a, le recouvrement intérieur est de 1,5 m/m ; avec b, il est négatif et égal à $- 5$ m/m.

Le diagramme (fig. 86) est obtenu avec la même admission et les mêmes recouvrements, mais la locomotive roule à 80 km. à l'heure.

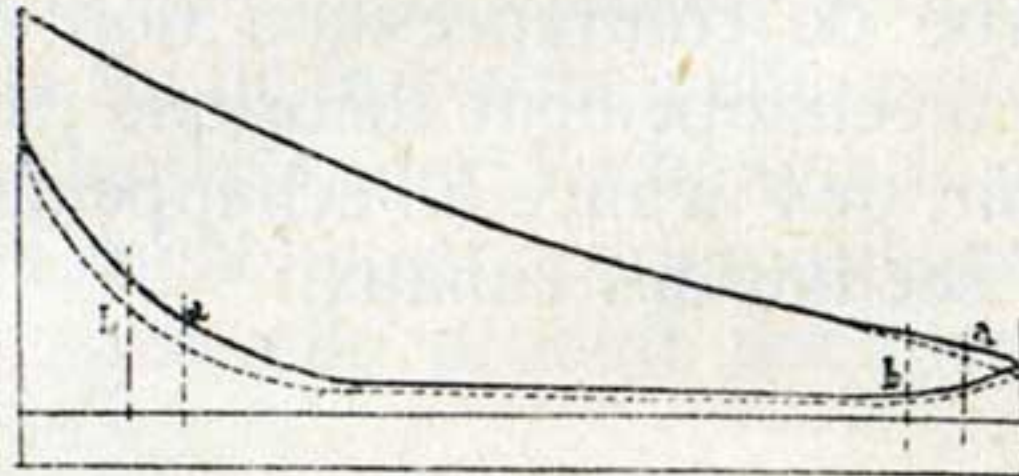


Fig. 86.

On voit donc qu'avec l'augmentation de vitesse, la pression en fin de course se relève et la perte de travail résultant de l'échappement anticipé diminue.

Le recouvrement intérieur doit donc, à ce point de vue, être choisi d'autant plus petit que la vitesse de marche est plus grande.

De même, à une pression élevée en fin de détente (grande admission) doit correspondre une grande avance.

La figure 87 montre l'allure des courbes d'échappement pour une admission constante, selon que l'échappement anticipé commence plus ou moins tôt.

La figure suivante montre l'effet de la pression finale.

Normalement, dans les machines fixes à grandes vitesse, l'échappement anticipé est de 15 à 20 % de la course du piston ; dans celles à marche lente ; elle est de 5 à 7 %.

Dans les locomotives, il serait avantageux de pouvoir se rapprocher des premiers chiffres ; mais c'est généralement comme nous le verrons la courbe de compression qui détermine le recouvrement intérieur ; tout

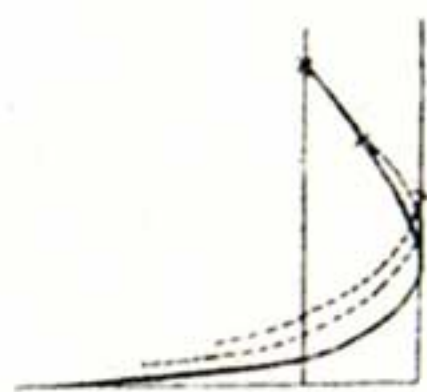


Fig. 87.

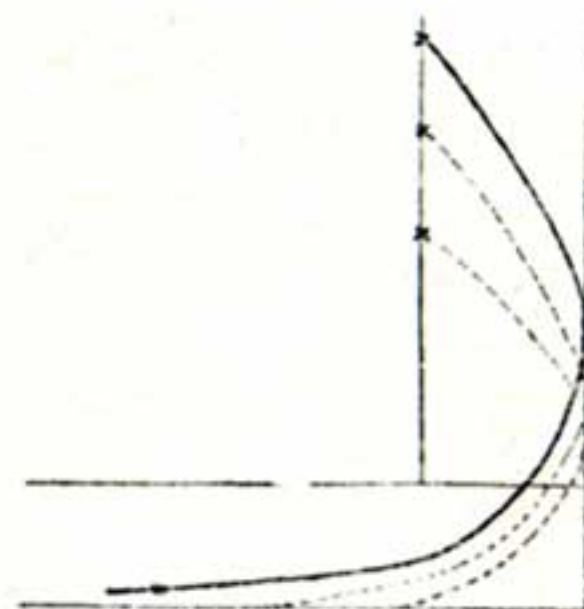


Fig. 88.

ce qu'on peut faire souvent, c'est de s'efforcer d'obtenir, pour l'avance à l'échappement, des valeurs qui ne soient pas trop désavantageuses. (Voir projet).

4) *L'échappement.*

§ 54. — La courbe de contrepression doit être aussi proche que possible de la ligne d'échappement théorique ; elle dépend fortement, nous venons de le voir, de l'avance à l'échappement ; elle dépend aussi, naturellement, de la section des canaux.

5) *La compression.*

§ 55. — L'utilité de la compression, c'est qu'elle permet d'amortir la force vive des pièces à mouvement alternatif et qu'elle prépare ainsi le changement de sens du mouvement au point mort.

On lui attribue d'autres avantages qui, en réalité, sont au contraire des inconvénients ; on fait valoir, par exemple, qu'elle permet d'économiser le remplissage de l'espace nuisible par de la vapeur vive ; on lui impute aussi, comme avantage, qu'elle réchauffe les parois du cylindre.

Mais une même surface de diagramme ne peut s'obtenir, quand la machine marche avec compression, qu'avec une admission de vapeur supérieure à celle qui serait nécessaire s'il n'y avait pas de compression ; cette admission supplémentaire rend donc illusoire le premier avantage cité ; en second lieu, le travail de la compression est emprunté au volant ; il se produit une première perte par frottement lors de la transmission de l'effort du piston à l'arbre ; il y en a une seconde dans la transmission inverse.

Quant à la chaleur fournie à la paroi, elle aussi est empruntée au volant ; il y a là une double transformation d'énergie, avec grande perte, chaque fois.

En pratique, on constate que certaines machines fixes, à consommations très basses, travaillent à très faible compression.

La compression ne doit jamais permettre qu'en fin de course, la pression atteigne ou dépasse celle qui règne dans la chapelle.

L'effet d'une compression trop forte est d'abord une perte au diagramme (boucle), en second lieu des pressions unitaires trop grandes sur les fusées et des échauffements de coussinets.

La courbe de compression résulte de l'égalité $pV^n = \text{constante}$ dans laquelle $n = 1,2$ environ. Cette courbe se détermine comme il a été indiqué à propos de la détente.

6) *L'avance à l'admission.*

§ 56. — L'avance à l'admission a pour but d'assurer la pleine pression de vapeur sur le piston dès que celui-ci est à son point mort.

Une avance trop forte peut occasionner des chocs dans le mécanisme, des échauffements de coussinets de bielles, des démarrages difficiles et une marche embarrassée de la machine provenant de la contrepression trop forte vers la fin de la course ; elle a encore pour inconvénient que le temps pendant lequel se fait l'échange de chaleur entre la vapeur admise et les surfaces nuisibles est accru inutilement, d'où augmentation des condensations ; enfin elle produit une perte de travail au diagramme.

Si l'avance se produit trop tard, la pression de vapeur pendant la période d'admission est abaissée, notamment aux grandes vitesses ; cela se traduit aussi par une perte au diagramme ; la machine a alors une marche très libre, mais son travail est insuffisant.

Pour la recherche de la grandeur d'avance convenable, les diagrammes de pression ne donnent que des indications insuffisantes, car ils ne montrent guère ce qui se passe aux environs des points morts et ils n'enregistrent pas les frottements intérieurs de la machine ; ils pourraient même induire en erreur une personne non avertie ; car, lorsque l'avance est forte, on obtient toujours une belle ligne d'admission.

Les diagrammes seuls fournissent donc des renseignements insuffisants ; il est nécessaire de les compléter par des essais sur route.

L'importance extrême d'une avance linéaire à l'admission judicieusement mesurée apparaît si on considère que, lorsqu'on l'augmente, on accroît en même temps l'avance angulaire et qu'ainsi l'admission anticipée s'accroît simultanément dans deux directions : 1° grandeurs d'ouverture ; 2° temps d'ouverture.

L'épure de Zeuner ci-contre, correspondant à 25 % d'admission, est construite en I avec $e = 22$ et avance $= 4$ m/m ; en II avec $e = 24$ et avance $= 2$ m/m ; on y voit que l'avance angulaire est, avec I, approximativement le double de ce qu'elle est avec II ; l'effet de l'avance linéaire sur la quantité de vapeur admise varie donc approximativement comme son carré.

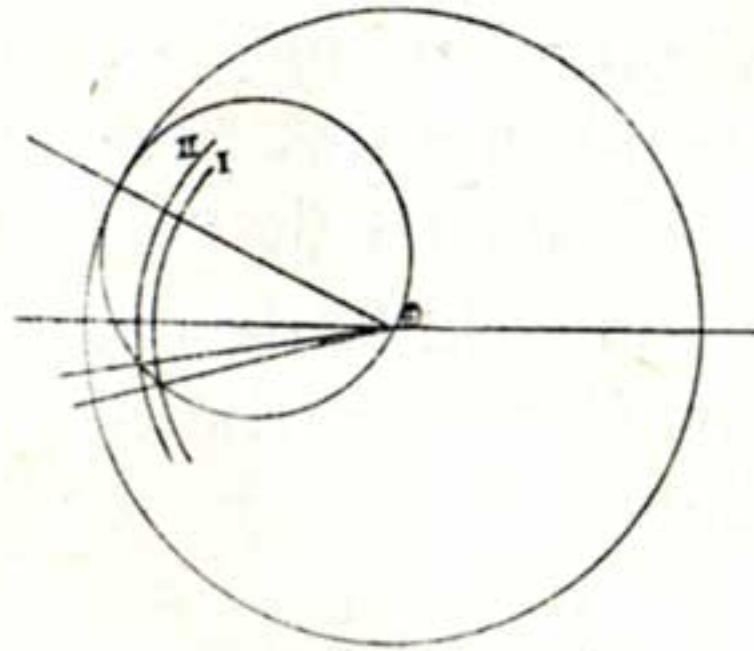


Fig. 89.

Souvent, on s'efforce de rendre l'avance constante aux diverses admissions.

Normalement cependant, elle devrait varier d'abord avec la compression ; plus celle-ci est faible et plus l'avance doit être forte et inversement ; elle doit aussi augmenter avec la vitesse de marche.

Dans la distribution Stephenson à barres ouvertes, l'avance diminue aux grandes admissions ; afin d'éviter qu'elle ne commence trop tôt aux admissions normales, on donne souvent un retard de 1/2 % aux admissions maxima (ce qui correspond à un recouvrement de la lumière de 1,5 m/m environ au lieu d'un découverture).

Avec les barres croisées, l'avance est le plus faible aux faibles admissions.

Une trop grande variation de l'avance pour un sens de marche (AV. par exemple) peut être évitée aux dépens de l'autre marche (AR.) par l'adoption d'angles de calage inégaux. Avec les barres ouvertes, l'angle de calage pour la marche AV. doit être augmenté ; il doit être diminué dans le cas de barres croisées.

B. — Effets de l'obliquité des bielles motrices et barres d'excentrique sur une distribution simple.

§ 57. — La longueur limitée de la bielle motrice a pour effet que le parcours du piston, à partir de son point mort AR. diffère de son parcours à partir du point mort AV. dans la course du retour pour un même déplacement angulaire de la manivelle.

La différence est égale à 2 m (fig. 90). Cherchons la valeur de m.

$$AB^2 = m (2L - m).$$

Si on néglige m^2 , très petit, il vient :

$$m = \frac{AB^2}{2L} = \frac{R^2 \sin^2 \omega}{2L}$$

La différence est d'autant plus grande : 1° pour un angle ω donné, que la fraction $\frac{R}{L}$ est plus grande ; 2° pour une machine donnée, que la manivelle se rapproche davantage de la verticale.

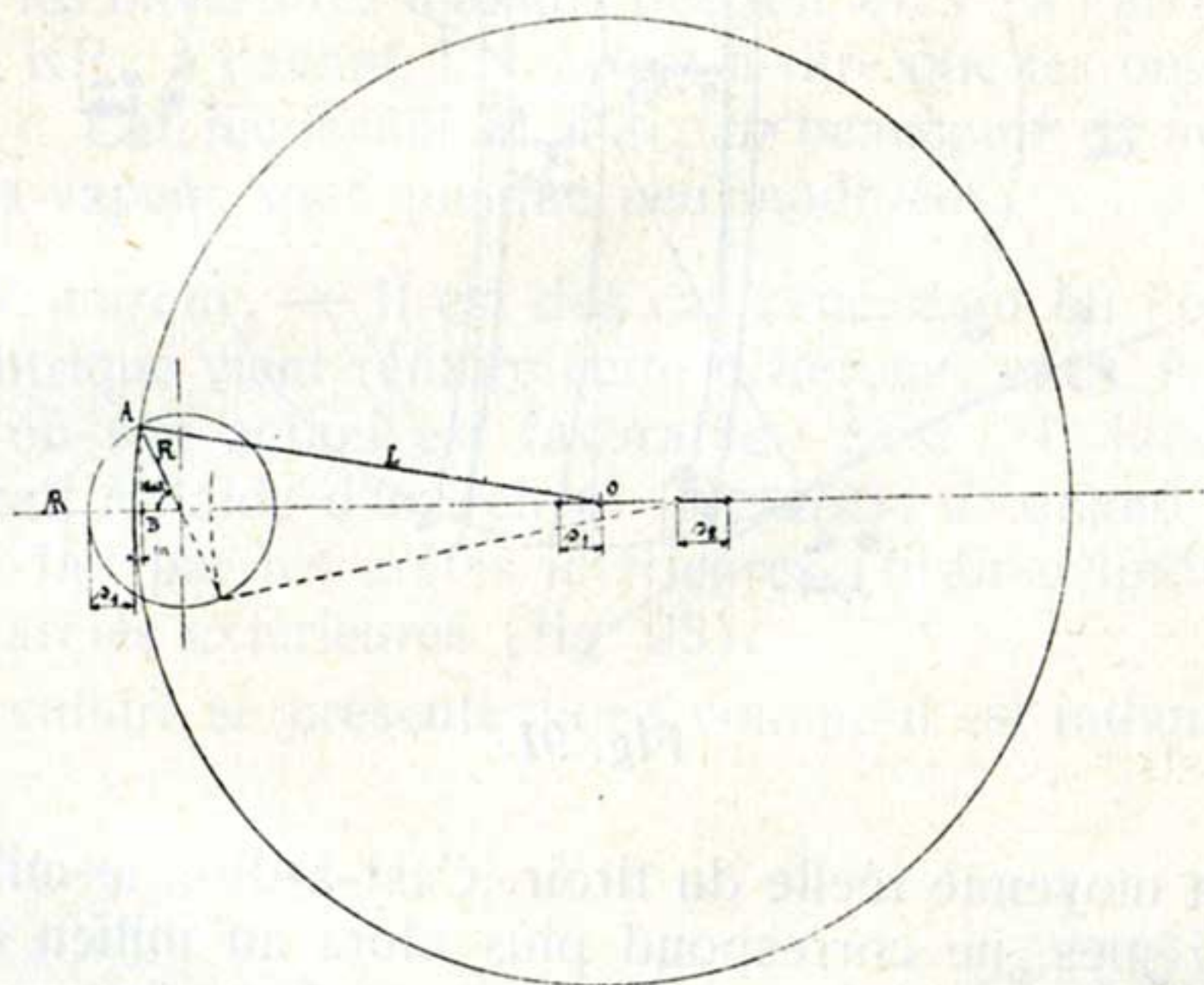


Fig .90.

La longueur limitée de la barre d'excentrique a , sur le tiroir, le même effet que celle de la bielle motrice sur le piston. Elle influe aussi, comme nous allons le voir, sur la grandeur des admissions à l'avant et à l'arrière du piston.

Examinons à l'aide de l'épure circulaire, l'action de ces deux obliquités sur l'ensemble d'une distribution simple.

§ 58. — 1°) *Action sur les avances à l'admission.*

L'épure montre que, seule, l'obliquité de la barre d'excentrique a une influence sur les avances à l'admission.

Nous supposons d'abord que le tiroir, quand il est au milieu de sa course, se trouve dans sa position moyenne idéale ; le point O représente donc à la fois l'axe de la glace et le milieu de la course.

L'avance linéaire à l'arrière est alors M_0T ; à l'avant, elle est M_1T_1 ; ces avances diffèrent de 2ε . Pour les rendre égales, il faut allonger la

tige de tiroir de ε , c'est-à-dire reporter en O' l'axe de la glace (position moyenne idéale du tiroir) ; c'est à partir de l'arc de cercle passant par O' que devront se compter les écarts du tiroir de cette position moyenne.

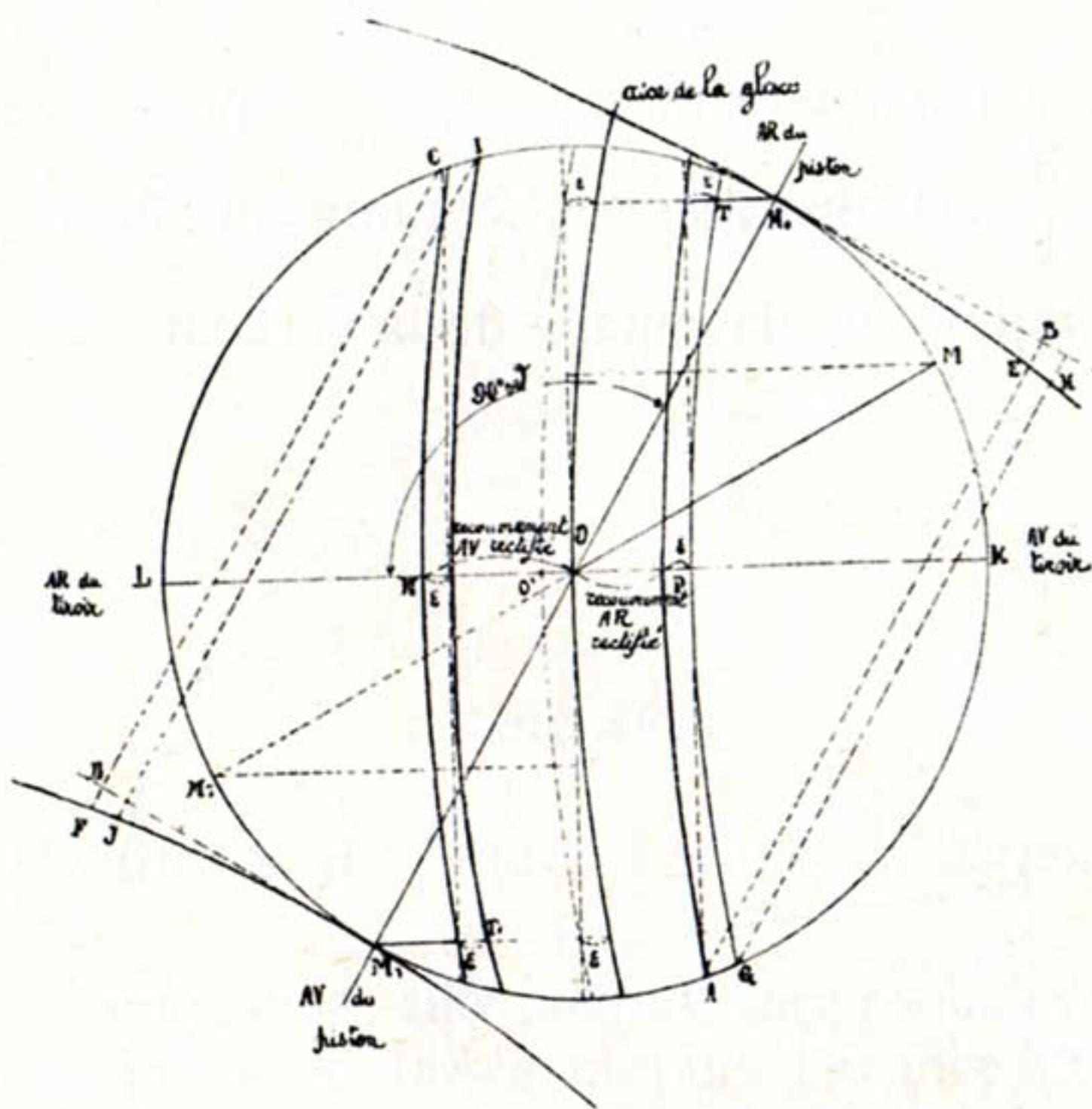


Fig. 91.

La position moyenne réelle du tiroir, c'est-à-dire, le milieu entre ses positions extrêmes, ne correspond plus alors au milieu de la glace ; elle est avancée de ε . (C'est la raison pour laquelle nous avons toujours parlé de position moyenne *idéale* du tiroir quand il s'agissait de celle rapportée au milieu de la glace).

Remarquons qu'en faisant les avances à l'admission égales, on obtient l'égalité des avances à l'échappement. Nous avons vu, fig. 87 qu'il n'est pas indifférent que l'avance à l'échappement se produise plus ou moins tôt. Il est donc avantageux que cette avance soit la même à l'avant et à l'arrière du piston.

Comme nous l'avons vu également (§ 56), l'avance à l'admission doit être judicieusement choisie ; on comprend donc que le réglage du tiroir par l'égalisation des avances soit la méthode généralement suivie.

§ 59. 2°) Action sur les degrés d'admission AV. et AR.

Avec bielle et barre infinies, les admissions seraient égales à l'avant et à l'arrière : $AB = CD$.

Par l'obliquité de la bielle, elles deviennent respectivement $AE < CF$.
Par l'obliquité de la barre d'excentrique et de la bielle, elles sont $GH < IJ$.

Les deux obliquités contribuent ainsi à accentuer les différences d'admission à l'avant et à l'arrière du piston.

Pour rendre ces admissions égales, il faudrait allonger la tige de tiroir.

L'allongement qu'on lui a fait subir pour rendre les avances égales, a eu pour effet de produire comme admission A E à l'arrière et approximativement C F à l'avant, c'est-à-dire d'améliorer les admissions.

Pour les rendre égales, il faudrait allonger la tige davantage, mais on perdrait alors l'égalité des avances.

L'allongement qu'on fait subir à la tige a un inconvénient, c'est qu'il modifie les ouvertures maxima des lumières ; à l'arrière, le découverturement sera KP ; à l'avant, LN ; c'est-à-dire que les ouvertures différeront de 2ε . Cet inconvénient n'a pas beaucoup d'importance ; les vitesses de la vapeur sont quelque peu modifiées.

§ 60. — *Remarque.* — Il est des cas cependant où l'obliquité de la barre d'excentrique vient réduire cette différence entre les admissions, c'est-à-dire, où son action est favorable ; c'est : 1° lorsque l'attaque du tiroir se fait à l'aide d'un renvoi (fig. 92) ; 2° quand l'introduction de vapeur se fait par les arêtes intérieures (tiroir cylindrique) et non plus par les arêtes extérieures (fig. 93).

L'épure circulaire se présente alors, comme il est indiqué ci-dessous.

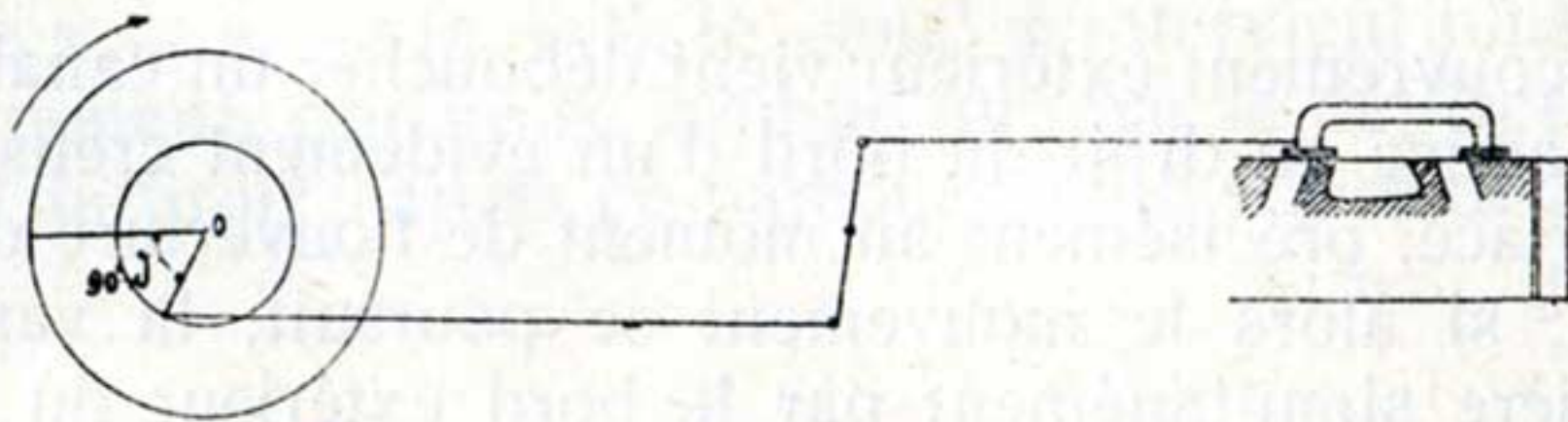


Fig. 92.

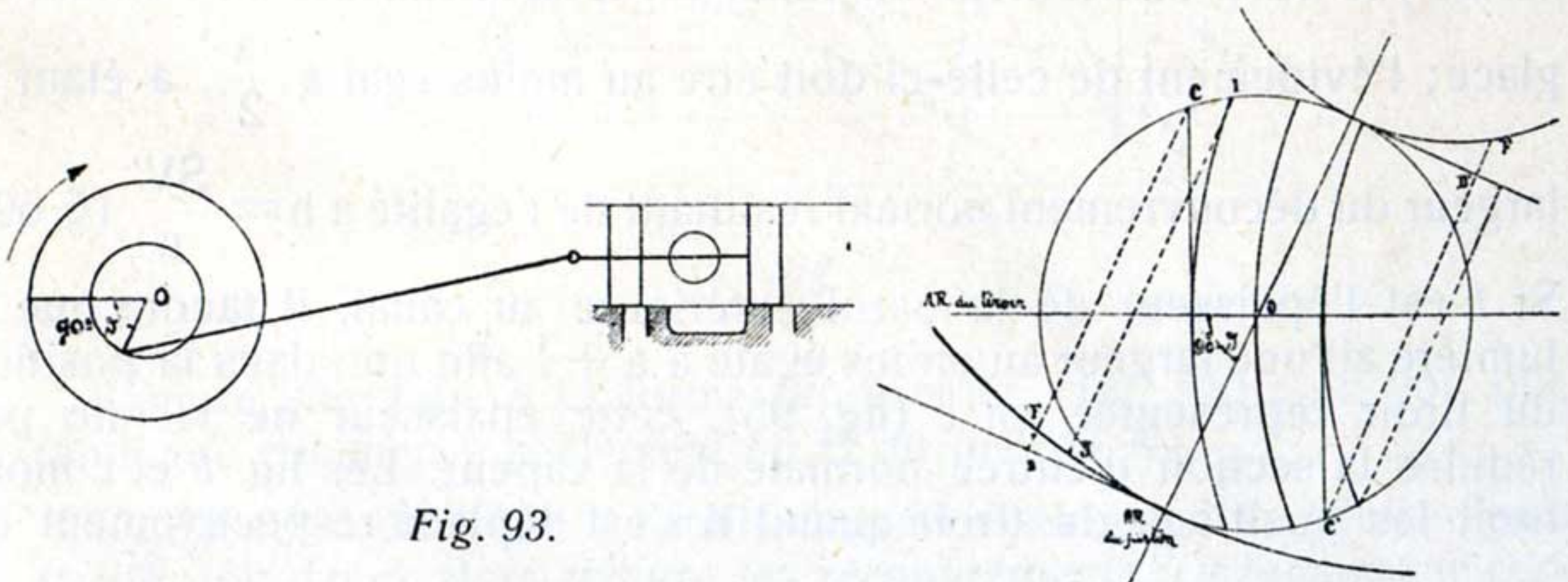


Fig. 93.

Fig. 94.

Les lettres de l'épure précédente ont été maintenues. On voit que les obliquités de la bielle et de la barre ont des effets opposés sur la grandeur de l'admission.

C. — Moyens employés pour réduire le laminage.

§ 61. — L'épure elliptique montre le laminage de vapeur qui se produit pendant l'admission avant que le tiroir referme la lumière. On a imaginé divers genres de distributeurs remédiant, au moins partiellement, à ce défaut du tiroir ordinaire. Le plus employé, tant sous la forme de coquille que sous la forme cylindrique, est le tiroir à canal, dit Allan-Trick.

D'autres, employés aussi dans certaines machines comme tiroirs plans, ne sont usités aux locomotives que sous forme de distributeurs cylindriques, le principe de leur construction restant identique dans tous les cas. Ils réalisent, comme le tiroir Allan, l'amélioration de l'introduction de la vapeur, mais, en outre, ils rendent meilleures les conditions de son échappement (à moins que leur emploi ne vise uniquement à réduire l'excentricité).

§ 62. — *Le tiroir Allan-Trick, à canal.*

Dans le recouvrement extérieur vient déboucher un canal dont l'arête distributrice arrive au droit du bord d'un évidement creusé aux extrémités de la glace, précisément au moment de l'ouverture de la lumière d'admission ; si alors le mouvement se poursuit, la vapeur pénètre dans la lumière simultanément par le bord extérieur du tiroir et par le canal.

Dans la fig. 95a, le tiroir est représenté dans sa position moyenne idéale ; le bord distributeur du canal est à la distance e du bord de la glace ; l'évidement de celle-ci doit être au moins égal à $\frac{a}{2}$, a étant la largeur du découvrément normal résultant de l'égalité $a h = \frac{SV'}{u}$ (§ 69).

Si l est l'épaisseur de la paroi extérieure au canal, il faudra que la lumière ait une largeur au moins égale à $a + l$ afin que dans la position du tiroir représentée en c (fig. 95), cette épaisseur ne vienne pas réduire la section d'entrée normale de la vapeur. Les fig. b et c montrent les positions du tiroir quand il s'est déplacé respectivement de e et de $\left(e + \frac{a}{2}\right)$; dans la position correspondant à ce dernier dépla-

cement, le canal est découvert de a ; pour l'excentricité normale $e = e + a$, le tiroir doit encore se déplacer alors de $\frac{a}{2}$ vers la droite ;

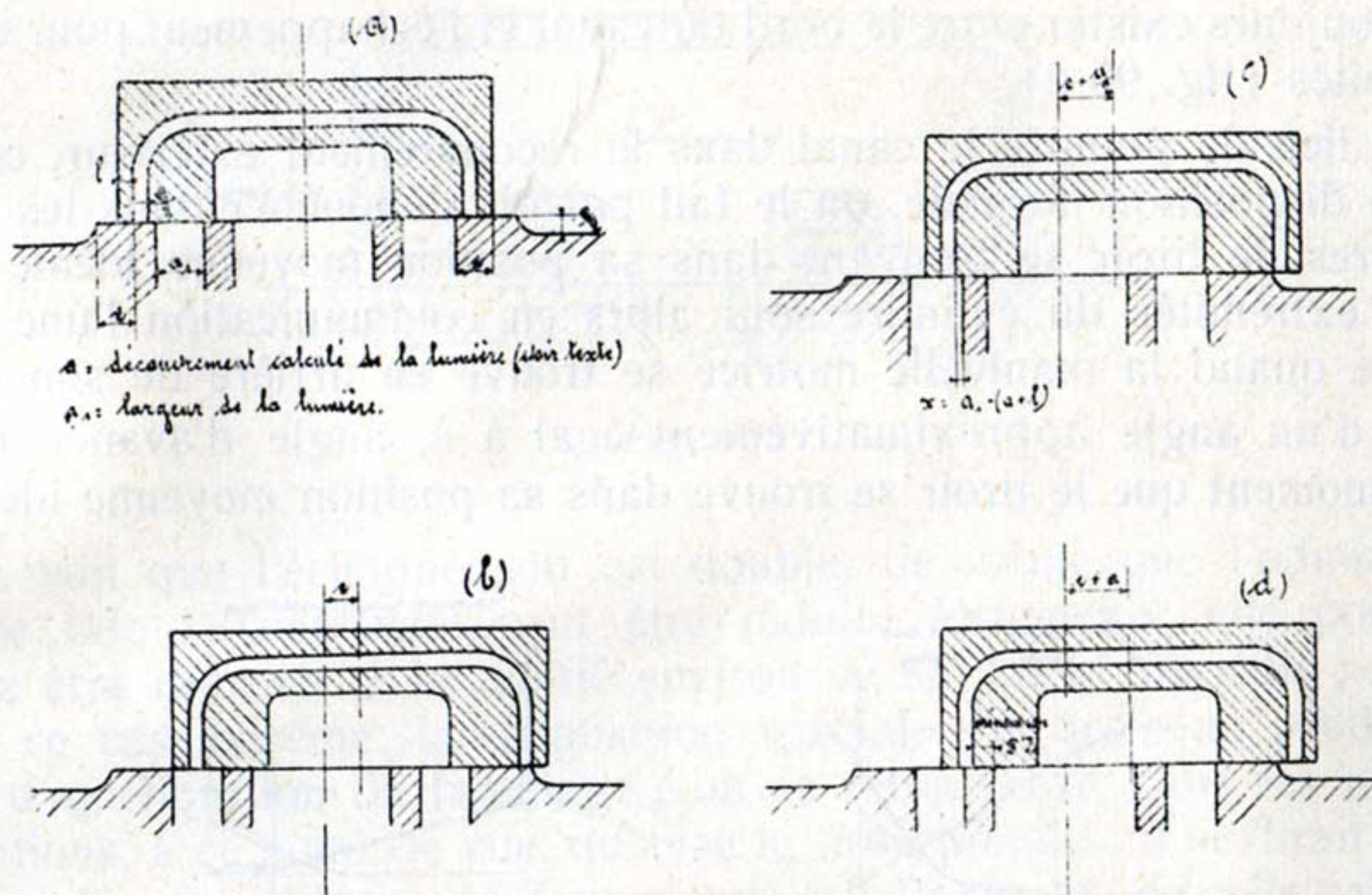


Fig. 95.

soit $a_1 > a + l$; pendant que le tiroir parcourt ensuite, vers la droite, la distance $x = a_1 - (a + l)$, le canal n'intervient plus pour accroître le découvrément, qui ne se modifie que par le déplacement de l'arête extérieure du tiroir ; après ce parcours, l'ouverture de la lumière reste invariable.

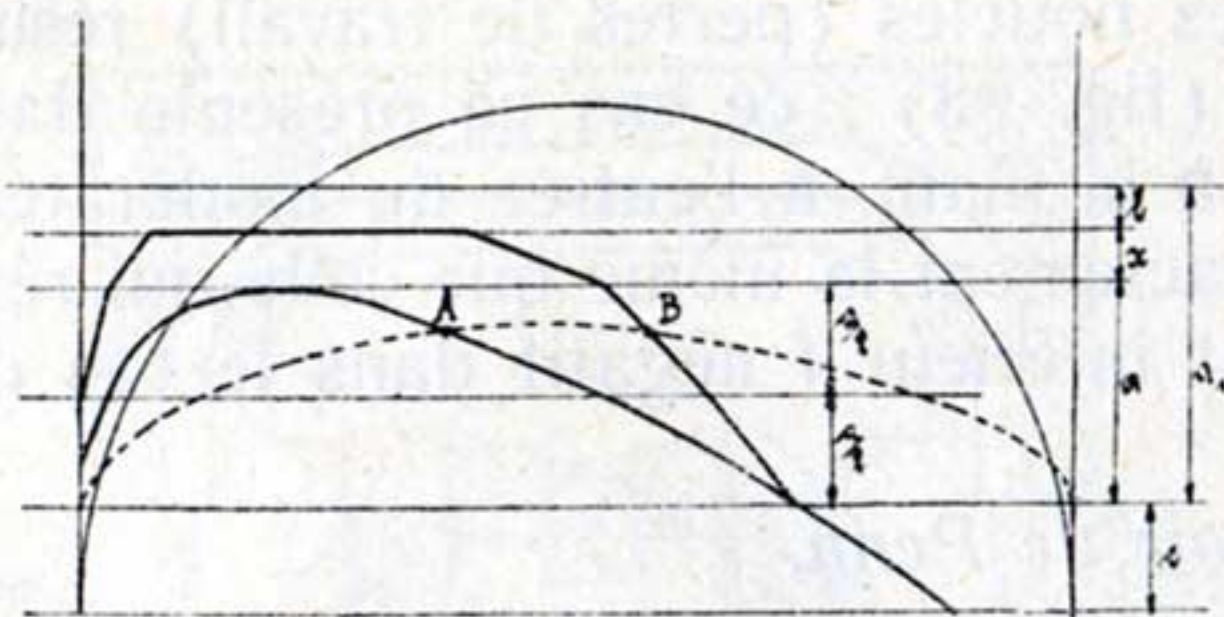


Fig. 96.

L'épure elliptique à la forme représentée (fig. 96) ; on voit que le laminage commence seulement en B au lieu de A.

L'utilisation du tiroir à canal pourrait viser aussi à réduire l'excentricité ; on devra alors réduire les recouvrements ; à remarquer cependant qu'il faut toujours que $e \geq a_1 + i$ afin que le canal d'échappement

soit dégagé suffisamment pour qu'il ne se produise pas de contre-pression au cylindre ; cette condition indispensable ne permet, en général, qu'une faible réduction de l'excentricité (voir §§ 73 et 82).

Quel que soit le but poursuivi, un intervalle minimum de 5 m/m doit toujours exister entre le bord du canal et l'échappement pour éviter les fuites (fig. 95 d).

Au lieu de prendre le canal dans le recouvrement extérieur, ce qui est la disposition normale, on le fait parfois déboucher dans les deux lumières, le tiroir se trouvant dans sa position moyenne idéale ; les deux extrémités du cylindre sont alors en communication l'une avec l'autre quand la manivelle motrice se trouve en arrière de son point mort d'un angle approximativement égal à δ , angle d'avance (c'est à ce moment que le tiroir se trouve dans sa position moyenne idéale).

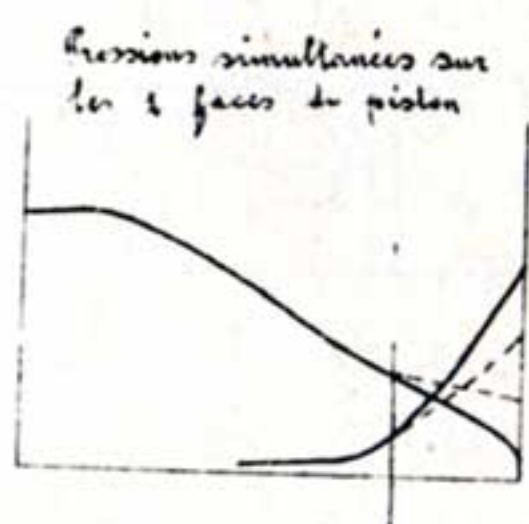


Fig. 97.

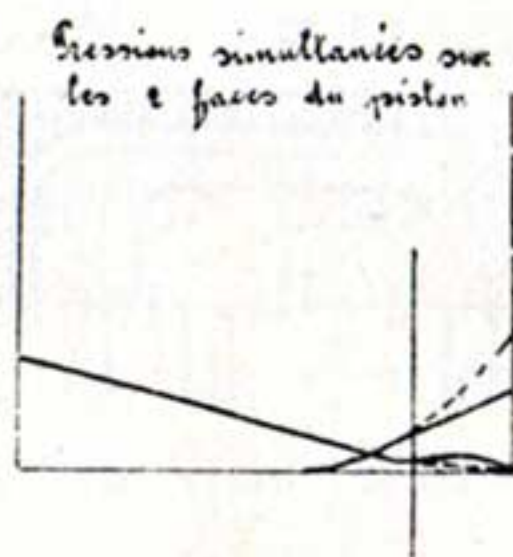


Fig. 98.

Les diagrammes de vapeur en sont alors affectés, et c'est ce qu'on désire ; si la ligne d'admission est élevée, la courbe de compression sera relevée et la courbe de détente, de l'autre côté du piston, abaissée (fig. 97), la pression vers la fin de la détente étant normalement plus grande que celle correspondante de la compression ; si au contraire, on a affaire à une faible pression d'admission, l'effet inverse se produit et on évite les boucles (pertes de travail) résultant de compressions trop fortes (fig. 98) ; ce cas se présente dans les locomotives quand on lamine à la main, à l'entrée du modérateur ; l'action sur le diagramme est exactement la même que celle qui résulte de l'adoption d'un recouvrement intérieur i négatif dans le cas du tiroir ordinaire.

§ 63. — *Le tiroir de Penn.*

Avec ce tiroir, les lumières d'admission dans la glace sont dédoublées, l'ouverture pour l'échappement restant simple ; deux canaux, ouverts par le bas, traversent complètement le tiroir dans le sens perpendiculaire à son mouvement ; leur intérieur est donc constamment en communication avec la vapeur vive de la chapelle.

Quand le tiroir est dans sa position extrême vers la gauche (parcours $e + a$ à partir de sa position moyenne idéale), il doit rester, entre le bord A du canal et le bord B de la lumière, un intervalle de 10 à

15 m/m ; c'est ce qui détermine l_1 ; d'ailleurs, il faut que l_2 soit au moins égal à a pour qu'il ne se produise pas de laminage supplémentaire à l'entrée de la vapeur dans la lumière.

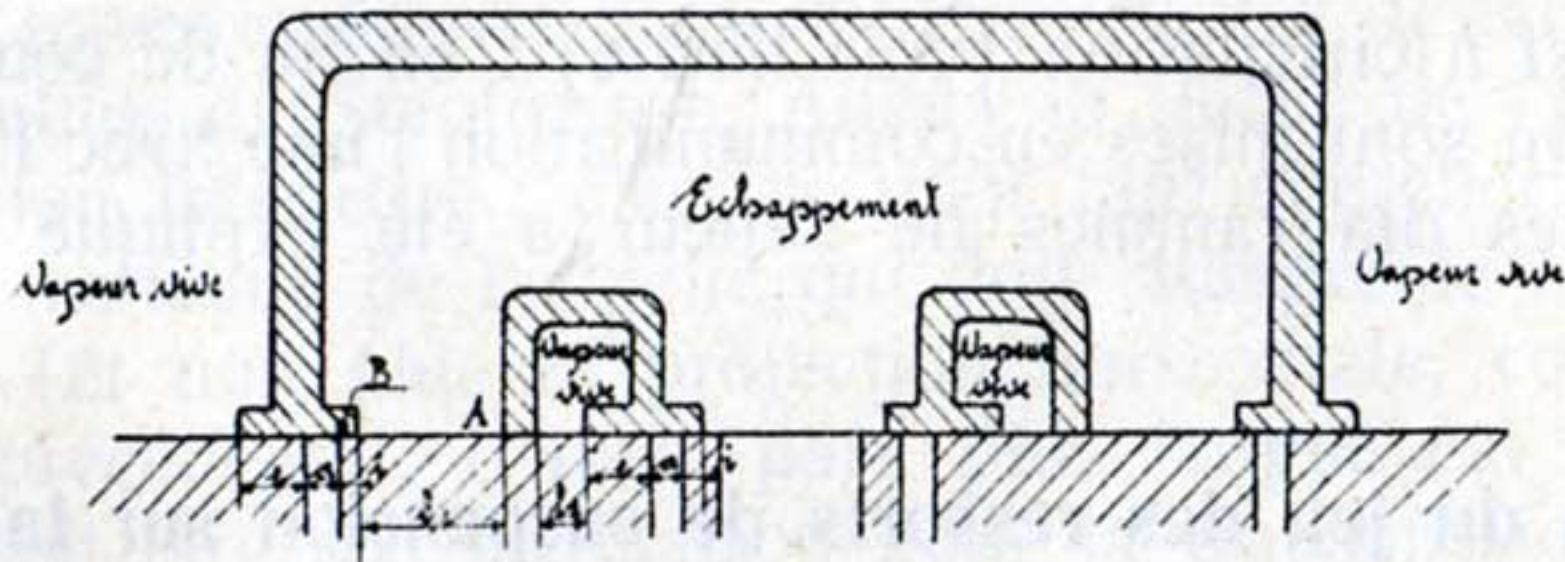


Fig. 99.

On voit que l'échappement est double, de même que l'admission. De ce fait, l'excentricité peut être réduite fortement ; elle pourrait même être ramenée à la moitié environ de sa valeur normale ; mais, dans ce cas extrême, la disposition spéciale du tiroir ne produirait plus d'amélioration du laminage ; on se retrouverait dans les mêmes conditions, à ce point de vue, qu'avec le tiroir simple ; il suffirait alors de prendre, pour l'épure de Zeuner, une échelle double de celle calculée au § 69.

§ 64. — *Le tiroir Hochwald.*

Avec celui-ci, c'est l'ouverture d'échappement dans la glace qui est dédoublée, les lumières d'admission restant simples ; le tiroir, du type à canal, est muni de deux barrettes supplémentaires orientées perpendiculairement à la direction du mouvement.

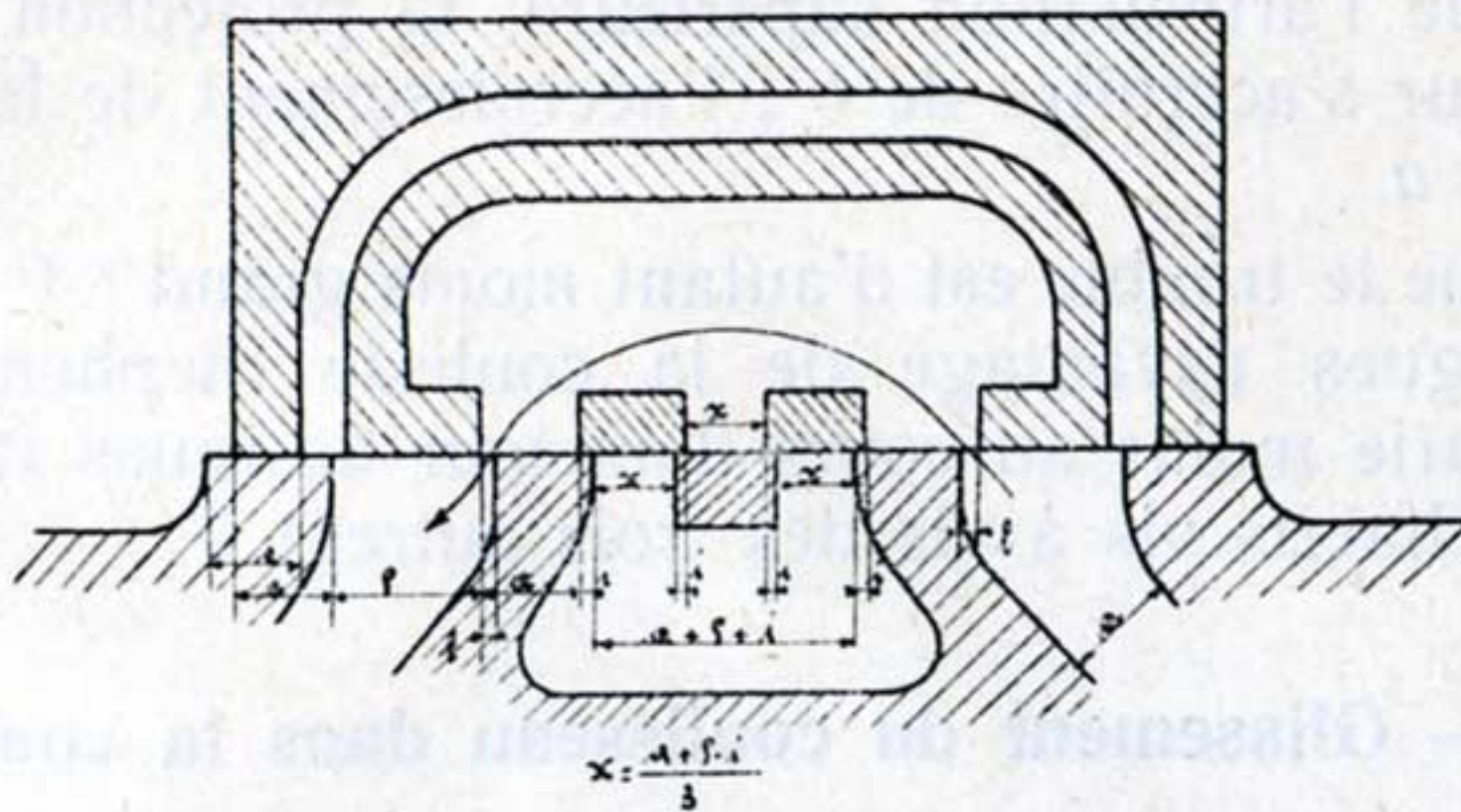


Fig. 100.

L'échappement est double, de même que l'admission ; les remarques faites plus haut à propos de la réduction de l'excentricité restent en situation ici.

Une bonne distribution de vapeur avec la plus faible excentricité et la plus petite longueur de tiroir admissibles sont obtenues avec $l + i = \frac{2}{5} a$. Aux locomotives, on prend $l = i + 3$ m/m.

Ce tiroir est à circulation (voir flèche) : en fin de course, les deux faces du piston sont mises en communication l'une avec l'autre ; l'effet produit sur les diagrammes de vapeur a été expliqué à propos du tiroir Allan.

D. — Action du jeu des ressorts de suspension sur la distribution.

§ 65. — Le jeu des ressorts de suspension vient troubler la distribution, car une partie des organes, solidaires du châssis, obéissent aux déplacements de celui-ci en hauteur, tandis que d'autres (excentriques et manivelles), reliés à l'essieu, ne sont pas influencés par ces oscillations ; l'inclinaison des bielles se modifie de ce fait, leur projection sur la direction du mouvement du tiroir change de longueur, ce qui, finalement, altère la position normale du distributeur.

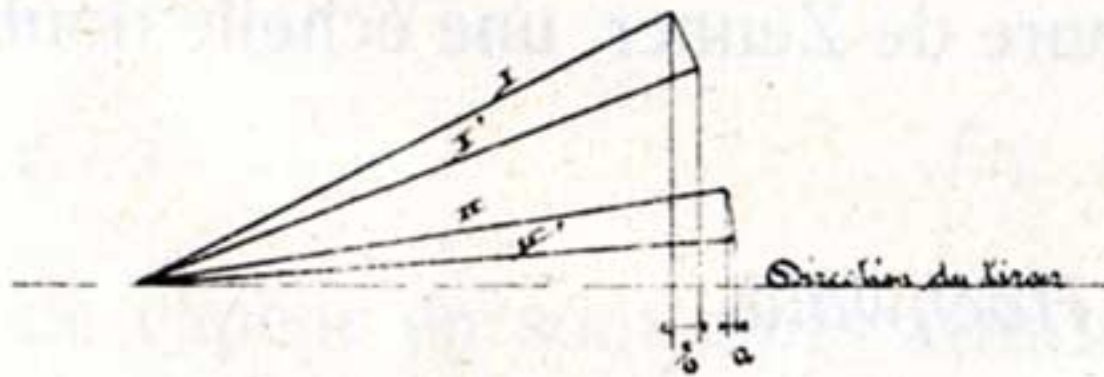


Fig. 101.

Le trouble apporté par la suspension élastique du châssis est d'autant plus important que le changement de longueur de la projection des bielles est plus grand, toutes choses égales : pour une même dénivellation de l'articulation supérieure, la projection de la bielle I voit sa longueur s'accroître de b ; l'accroissement de la projection de II n'est que de a .

C'est dire que le trouble est d'autant moins grand : 1° que les bielles sont plus longues (avantage de la coulisse Stephenson) ; 2° que l'inclinaison varie moins au cours d'un tour de roues (avantage de la coulisse Walschaerts vis à vis des trois autres).

E. — Glissement du coulisseau dans la coulisse.

§ 66. — Ce glissement ne peut être évité puisque les déplacements des deux organes dépendent de leur liaison aux autres parties du mécanisme. Il présente le double inconvénient d'apporter, lui aussi, du trouble dans la distribution, et de produire du jeu à la partie travaillante de la coulisse. Nous avons déjà vu qu'on s'inquiète de ce

glissement quand on veut déterminer la suspension de la coulisse de Walschaerts. Nous verrons que, lors de l'examen d'un projet de distribution, c'est l'une des questions qui doivent retenir l'attention.

Comme moyen général de réduire ce glissement, on doit recommander de longues coulisses et de longues bielles de suspension ; ces dernières diminuent (Stephenson, Allan) la flèche de l'arc décrit par leur articulation inférieure ; c'est ce qu'il faut chercher, car ici, c'est la projection verticale de la bielle qui doit changer le moins possible de longueur (et non plus la projection horizontale, comme dans le paragraphe précédent) ; d'autre part, plus longue est la coulisse et plus faible doit être son inclinaison pour la transmission d'un même déplacement du tiroir ; plus faible aussi sera donc la variation de sa projection verticale. Evidemment, il est d'autres considérations que le glissement du coulisseau ; ainsi plus la coulisse est longue et plus lent est le renversement de la marche ; c'est un fait qui prend de l'importance dans les locomotives de manœuvre, par exemple, où les renversements de marche sont très fréquents.

La position du point de suspension de la coulisse a une grande influence sur le glissement du coulisseau ; normalement, ce point doit se trouver sur l'axe de la coulisse, au milieu de sa longueur ; on ne se départit de cette règle que lorsqu'on veut favoriser un sens de marche au détriment de l'autre ; on suspend alors la coulisse par l'extrémité correspondant à la marche qu'on veut avantager, mais on crée ainsi de grands glissements du coulisseau dans la marche en sens inverse.

§ 68. — a) *Tracé de l'épure.*

Adoptons un diamètre de 100 m/m afin de pouvoir compter 1 m/m pour 1 %.

Traçons l'angle $MoAa = 15^\circ$. Prenons $MH = 70$ m/m ; la verticale élevée en H nous donne le point D qui correspond à la fin de l'admission.

Joignons AaD et abaissons, de O, une perpendiculaire FOG sur cette droite.

Nous obtenons ainsi : 1° l'angle MOG qui est l'angle de calage ; 2° OL qui est le recouvrement extérieur.

Portons $NI = 20$ m/m. La perpendiculaire élevée en I donne le point C, commencement de la compression ; le rayon OC coupe la circonférence de Zeuner en K ; OK est le recouvrement intérieur, qui nous donne le point Ae où commence l'échappement anticipé.

§ 69. — b) *Echelle.*

Pour déterminer l'échelle de l'épure, on recherche les conditions pour lesquelles le laminage à l'admission paraîtra acceptable et auxquelles ne correspondront pas, cependant, des dimensions exagérées du tiroir ni de l'excentricité. Logiquement on devrait, au moyen des divers rayons polaires de l'épure de Zeuner qu'on vient de tracer, construire l'épure elliptique, y tracer l'ellipse donnant les largeurs nécessaires des lumières à chaque instant (fig. 41) et déterminer enfin dans quel rapport les ordonnées de l'ellipse du tiroir devraient être modifiées (c'est-à-dire, en d'autres termes, quelle devrait être l'excentricité) pour que le laminage accusé à l'épure soit acceptable ; on obtiendrait ainsi l'excentricité en grandeur absolue, ce qui fournirait l'échelle cherchée.

Pratiquement, on agit autrement ; soit a le découvrément maximum de la lumière (manivelle dans la position OF). Se rappelant l'égalité $SV = l h v_m$ posée au § 12, on écrit (mais ce n'est pas logique) :

$$SV' = ahu.$$

V était la vitesse du piston à l'instant considéré ;

V' est sa vitesse moyenne ;

l était le découvrément de la lumière au même moment ;

a est le découvrément maximum ;

v_m était la vitesse de vapeur qu'on s'imposait pour limiter la chute de pression.

u est une vitesse de vapeur qu'on se donne d'après l'expérience.

On ne peut pas dire que cette vitesse u soit indifférente au laminage ; mais elle ne permet pas, à elle seule, de le calculer : pour une même valeur de u , il variera notamment suivant l'angle de calage. Cette mé-

thode est donc quelque peu empirique ; néanmoins, elle est très généralement adoptée ; elle fournit la valeur absolue de a représentée sur l'épure par la longueur FL.

Soit $h = 0,7 D = 0 \text{ m } 35$.

$$\text{Surface du piston } S = \frac{\pi D^2}{4} = 1960 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Vitesse moyenne du piston } V' = \frac{nl}{30} = 2,4 \text{ m. par seconde.}$$

Si on prend $u = 100 \text{ m}$, on obtient :

$$a = \frac{SV'}{h u} = \frac{0,196 \times 2,4}{0,35 \times 100} = 0,0134 \text{ m.} = 13,4 \text{ m/m.}$$

Or, la longueur FL mesurée sur l'épure a 31 m/m ; toutes les dimensions du tiroir et l'excentricité, mesurées sur l'épure, devront être réduites dans le rapport $\frac{13,4}{31}$

§ 70. — c) *Largeur des lumières.*

La largeur a_1 des lumières est calculée en égard exclusivement à l'échappement, avec le but de faciliter le plus possible l'évacuation de la vapeur ; on prend parfois $a_1 = \frac{4}{3} a$; c'est simple, mais purement empirique ; ou encore, employant la même formule que ci-dessus : $SV' = a_1 h u_1$, on se donne, d'après l'expérience, une certaine valeur pour u_1 ; exprimer ce que représente u_1 serait encore plus difficile que pour u car, dans le cas présent, le volume spécifique de la vapeur quand elle s'échappe n'est plus du tout le même que lorsqu'elle agissait sur le piston à la vitesse moyenne V' ; c'est donc de l'empirisme. Nous verrons (§ 82) les valeurs adoptées par u et u_1 dans les locomotives.

§ 71. — d) *Tracé du tiroir simple, à coquille, et de sa glace.*

La barrette du tiroir est égale à $e + a_1 + i$. L'excentricité est $g = e + a$. On place d'abord le tiroir et la lumière dans leur position relative correspondant à la position moyenne idéale du tiroir. On place

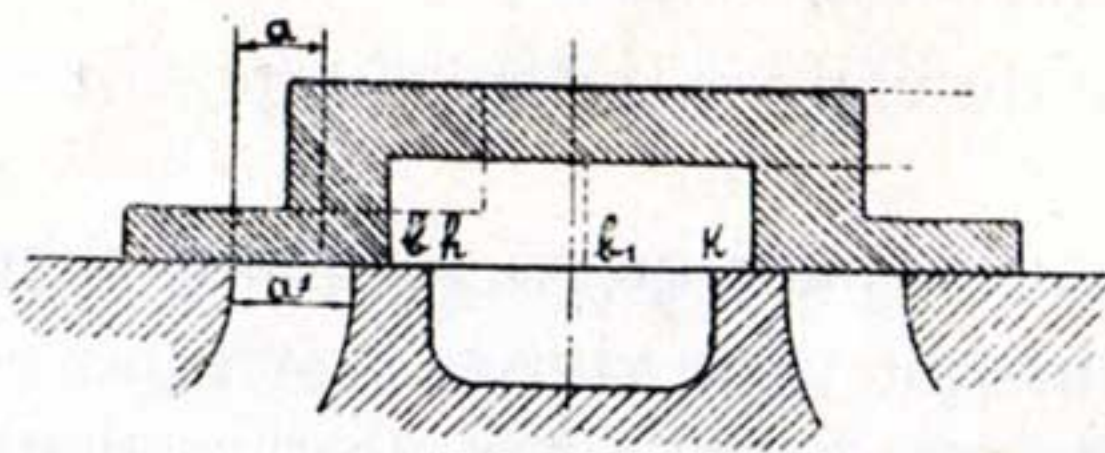


Fig. 103.

ensuite ce dernier dans sa position extrême ; l'arête b vient en b_1 ; la distance b_1K doit être égale à a_1 , pour qu'il ne se produise pas d'étranglement de la vapeur à l'échappement ; la perpendiculaire à la glace élevée au milieu de la distance hK est axe de symétrie pour le tiroir dans sa position moyenne et pour la glace.

§ 72. — e) *Tracé du distributeur cylindrique et de son fourreau.*

La largeur a_2 des lumières du fourreau doit être plus grande que la largeur calculée a_1 , en raison de la réduction de section produite par le cloisonnement ; on prend généralement $a_2 = \frac{a_1}{0,7 \text{ à } 0,75}$

La longueur de la partie distributrice de chacun des pistons est égale à $a_2 + e + i$.

La distance entre les lumières d'admission du fourreau peut être prise plus grande que dans les tiroirs plans : on a intérêt à faire les canaux le plus courts possible de façon à réduire au minimum l'espace et les surfaces nuisibles ; ce résultat s'obtient aisément avec le tiroir cylindrique ; tel ne serait pas le cas avec le tiroir plan : les dimensions et le poids de celui-ci s'accroîtraient rapidement ; de là résulteraient de grands efforts d'inertie et un travail de frottement très important.

§ 73. — f) *Tracé du tiroir Allan, à canal, et de sa glace.*

Si l'emploi du tiroir à canal ne vise qu'à améliorer les conditions d'admission de la vapeur au cylindre (§ 62), les divers éléments de la distribution se calculent exactement comme pour le tiroir ordinaire. Il faudra seulement, dans le tracé du tiroir et de la glace, tenir compte que la largeur de la lumière doit être au moins égale à $a + l$, l étant l'épaisseur de la paroi extérieure du canal du tiroir.

Si, au contraire, on veut aussi réduire le parcours du tiroir à $\frac{1}{n}$ de sa valeur normale avec tiroir ordinaire, on doit d'abord déterminer les limites de n par la double condition :

$$1^\circ \quad a_1 \geq \frac{a}{n} + l \qquad 2^\circ \quad e = \frac{e + a}{n} > a_1 + \frac{i}{n}$$

On remarquera d'abord que n doit toujours être compris entre les nombres 1 et 2 ; pour $n = 1$, on se trouve dans le cas du tiroir à canal gardant la course du tiroir simple ; pour $n = 2$, le tiroir à canal a une course moitié moindre que celle du tiroir simple, mais garde le même laminage que celui-ci.

Des inégalités ci-dessus, on tire :

$$1^{\circ} \quad n \geq \frac{a}{a_1 - l}; \quad \text{limite inférieure de } n = \frac{a}{a_1 - l}.$$

$$2^{\circ} \quad n \leq \frac{e + a - i}{a_1}; \quad \text{limite supérieure de } n = \frac{e + a - i}{a_1}.$$

Supposons que l'épure et le calcul de a et a_1 donnent :

$$a = 32; \quad e = 28; \quad i = 10; \quad a_1 = 40.$$

$$\text{Soit } l = 10.$$

$$\text{La limite inférieure de } n \text{ est } \frac{32}{40 - 10} = \frac{3,2}{3} = 1,07.$$

$$\text{Sa limite supérieure est } \frac{28 + 32 - 10}{40} = \frac{50}{40} = 1,25$$

La limite inférieure étant plus grande que l'unité, la course du tiroir sera nécessairement plus faible que celle du tiroir ordinaire ; c'était à prévoir puisque la condition pour que la course puisse être maintenue est $a_1 \geq a + l$.

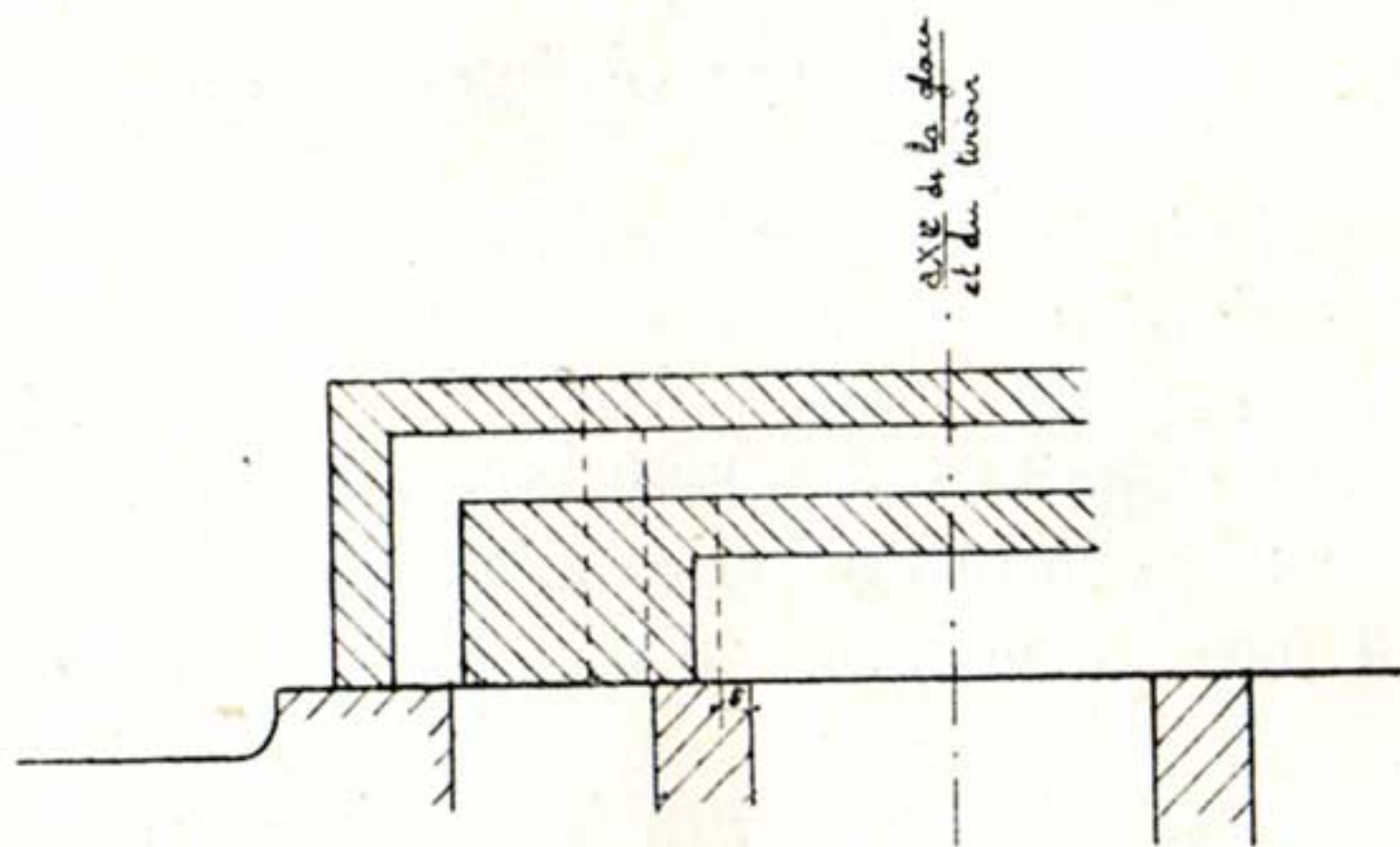


Fig. 104.

Après avoir fait choix de n , il suffit de réduire, dans le rapport $\frac{1}{n}$, les dimensions des éléments de la distribution fournis par l'épure de Zeuner pour le cas du tiroir ordinaire ; seule, la largeur a_1 garde sa valeur primitive.

Le canal sera compris entièrement dans le recouvrement extérieur si $1 + \frac{a}{2n} \leq \frac{e}{n}$ ou si $n \leq \frac{2e - a}{2l}$.

Le tracé du tiroir et de la glace se fait comme il a été indiqué pour le tiroir ordinaire ; la figure 104 représente, à l'échelle 1/4, la distribution dont les éléments sont donnés ci-dessus, avec $n = 1,2$.

§ 74. — g) *Tracé du tiroir cylindrique à double admission et échappement simple.*

La fig. 105 donne toutes les indications nécessaires au tracé. La longueur des pistons distributeurs de même que l'écartement des ouvertures jumelles du fourreau sont déterminés par la largeur de ces ouvertures et par les recouvrements adoptés.

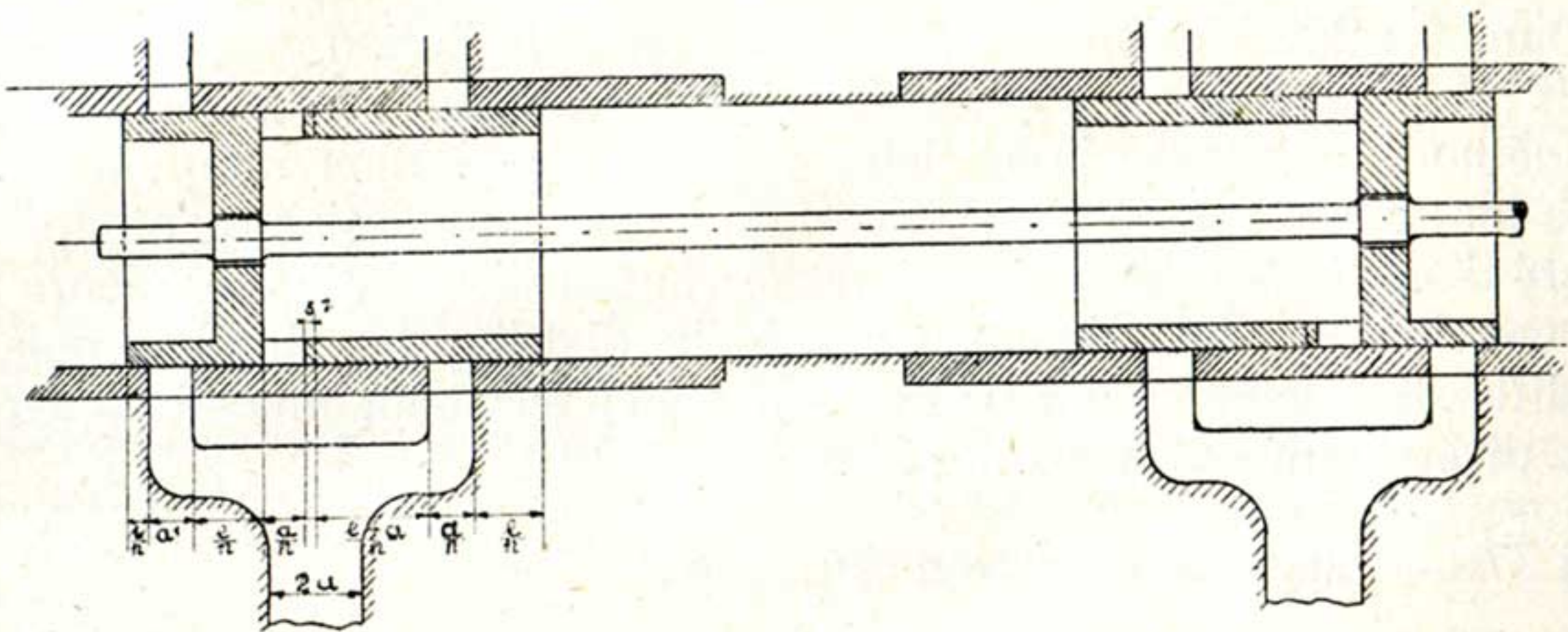


Fig. 105.

La course des distributeurs (c'est-à-dire l'excentricité) est, comme dans le cas du tiroir Allan, $\frac{1}{n}$ de celle du tiroir ordinaire, n étant choisi eu égard au but poursuivi : réduction du laminage à l'introduction ou bien diminution de l'excentricité. La limite supérieure de n est, comme dans le tiroir Allan et pour la même raison, égale à $\frac{e + a - i}{a_1}$, les éléments e , a , i , étant ceux obtenus à l'épure de Zeuner pour un tiroir ordinaire ; sa limite inférieure est l'unité.

Le supplément de 5 m/m dans la longueur des pistons distributeurs est nécessaire pour éviter que l'échappement ne soit mis en communication avec l'admission à la fin de la course.

§ 75. — h) *Tracé du tiroir cylindrique à admission et échappement doubles.*

Ces tiroirs sont constitués en général sur le principe des tiroirs de Penn et d'Hochwald ; pour le tracé, on se reportera à ce qui a été dit antérieurement (§§ 63 et 64).

La course des distributeurs peut encore être réduite à $\frac{1}{n}$ de celle

du tiroir ordinaire ; en raison de l'échappement double, n peut ici varier entre 1 et 2, sans autres limitation ; après avoir fait choix d'une valeur de n , on réduit dans le rapport $\frac{1}{n}$ les dimensions fournies par l'épure de Zeuner pour le tiroir ordinaire ; on réduit aussi dans le même rapport la largeur a_1 de lumière.

II. — Distributions à coulisses.

§ 76. — a) *Distribution intérieure.*

Dans les distributions à coulisses apparaît la notion de l'excentrique fictif ; à chaque degré d'admission correspond un excentrique spécial ; la méthode employée pour déterminer la distribution intérieure consiste tout d'abord à partir d'un certain degré d'admission qu'on appelle *degré d'admission du projet* ; à rechercher la distribution intérieure qui lui convient, comme dans le cas de la distribution simple ; puis, à modifier les éléments qui ne peuvent rester tels pour pouvoir convenir aux diverses détentes employées.

§ 77. — *Degré d'admission du projet.*

On adopte :

35 % aux locomotives à simple expansion ;

55 à 60 % aux cylindres B.P. des locomotives Compound ;
éventuellement 40 à 45 % aux cylindres HP, quand la distribution à ces cylindres est indépendante de celle des cylindres BP.

Il ne serait indifférent de prendre une admission quelconque comme base au projet que si les avances décroissaient quand la détente augmente ; tel est le cas, notamment, dans les coulisses d'Allan et de Stephenson à barres croisées ; ce sont ces distributions qui s'adaptent le mieux à toutes les circonstances car, normalement, l'avance doit diminuer quand la quantité de vapeur à écouler diminue ; aux autres dispositions de coulisses, on se place dans les conditions les plus favorables pour un degré d'admission proche de celui de la marche normale ; et on étend la méthode à toutes les distributions.

§ 78. — *Avance angulaire à l'admission.*

Les chiffres ci-après correspondent aux degrés d'admission indiqués plus haut :

	Locomotives à simple expansion	Locomotives Compound
Admission simple	15 à 16°	8 à 10°
Admission et échappement doubles	15 à 16°	8 à 10°
Admission double et échappement simple	11 à 12°	6 à 7°

Ces chiffres tiennent compte de ce que le remplissage de l'espace nuisible se fait plus rapidement en cas de double introduction et forte excentricité.

D'autre part, dans le choix du chiffre à adopter on considère que ce sont les plus grands espaces nuisibles qui nécessitent les chiffres les plus élevés.

§ 79. — *Choix des conditions de l'échappement.*

On sait que c'est le recouvrement intérieur i qui détermine les conditions de l'échappement, c'est-à-dire l'avance angulaire à l'échappement et la compression ; ces deux phases sont ainsi solidaires l'une de l'autre ; la détermination de l'une entraîne la connaissance de l'autre.

On commence par fixer la phase de compression au moyen du diagramme de travail ; on trace la ligne de compression en partant de cette idée que la pression, en fin de compression, pour les admissions les plus faibles (inférieures à celle adoptée au projet), ne doit pas dépasser la pression d'admission ; ainsi, dans les locomotives à simple expansion, on pourra admettre, pour l'admission de 35 % du projet, une pression de fin de compression égale aux $\frac{3}{4}$ de la pression d'admission.

Le tracé de la courbe de compression traduit, on le sait, l'équation $pV^n = \text{constante}$; on prend $n = 1,1$ à $1,25$ aux locomotives à vapeur saturée et $n = 1,2$ à $1,3$ pour la vapeur surchauffée ; on utilisera le tableau du § 52. Mais comme, par suite de l'étranglement de la lumière à la fin de la phase de l'échappement, le commencement effectif de la compression devance les indications du diagramme théorique, on doit, pour que la courbe tracée réponde à la réalité, réduire la course de compression donnée par le diagramme théorique aux $\frac{3}{4}$ ou aux $\frac{4}{5}$ de sa valeur ; c'est cette course réduite qui doit être utilisée à la recherche du recouvrement intérieur du tiroir.

La pression de vapeur à adopter dans la phase d'échappement peut être prise égale à :

1,4 k dans les locomotives d'express à simple expansion ;

1,3 k dans les locomotives à marchandises à simple expansion ;

les sections des canaux étant généralement plus largement calculées dans les locomotives Compound, on prendra pour celles-ci :

1,3 k dans les locomotives d'express ;

1,25 k dans les locomotives à marchandises.

L'espace nuisible à considérer est celui résultant du plan de construction ; mais pour l'avant-projet, on peut se contenter de le compter égal à 8 à 10 % du volume engendré par le piston.

La phase de compression fournit, dans l'épure de Zeuner, la valeur correspondante du recouvrement intérieur i ; l'échappement anticipé

qui en résulte doit être examiné ; sa valeur, en effet, n'est pas indifférente : il y a un minimum qu'elle doit atteindre, variable avec la pression en fin de détente et avec le nombre de tours de la machine (§ 53) ; quand ce minimum est dépassé par l'avance résultant de la compression adoptée, on garde cette dernière, acceptant ainsi la chute de pression correspondante au diagramme ; si, au contraire, la compression donnait une avance trop faible, ce serait l'avance nécessaire qui deviendrait déterminante pour la fixation du recouvrement intérieur ; on réduirait ainsi la compression.

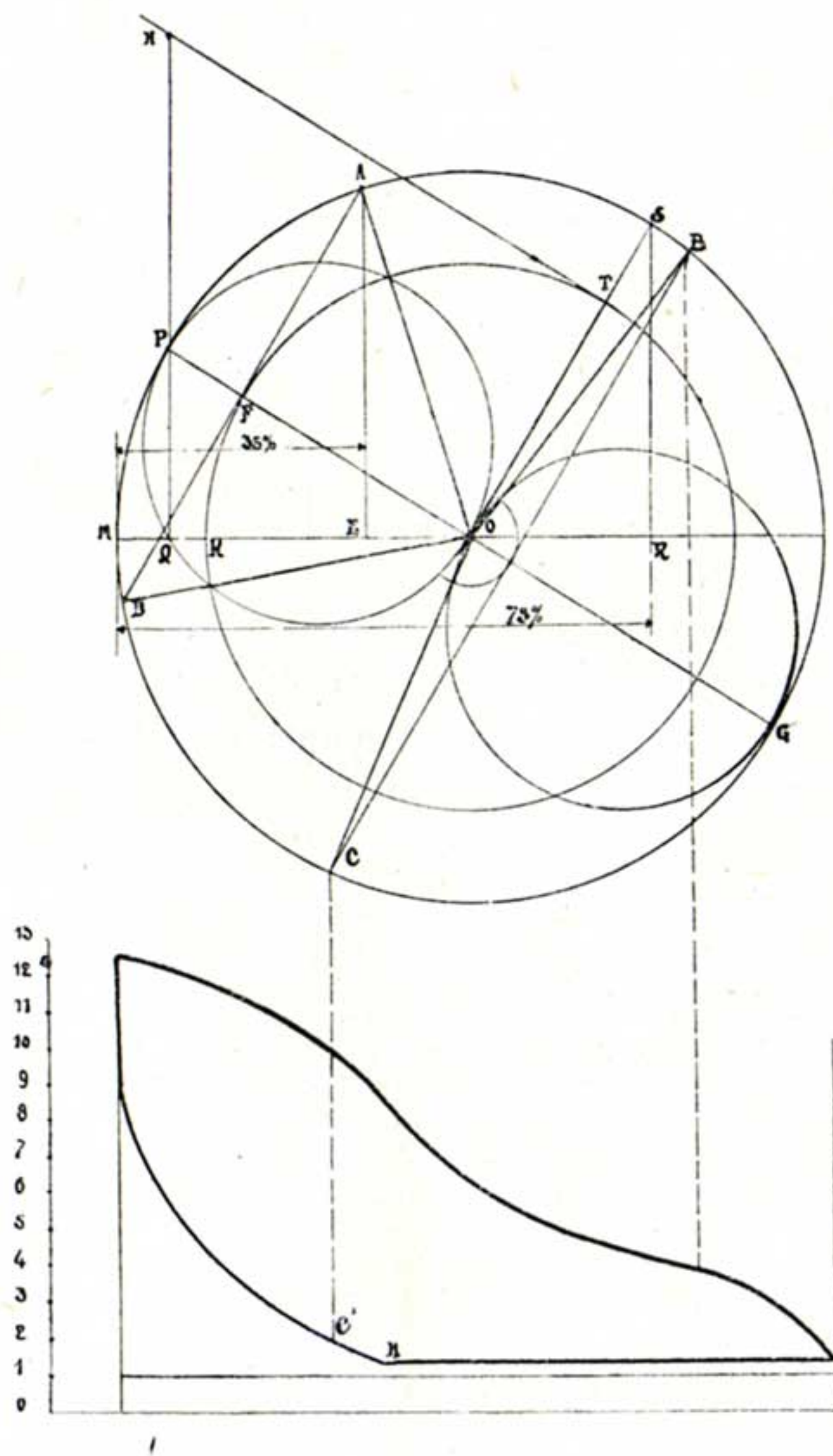


Fig. 106.

D'après ce qui vient d'être dit et ce qui a été indiqué au § 67 on trace l'épure de Zeuner (fig. 106) ; remarquer comment le point C a été obtenu.

Cette épure donne, pour le degré d'admission du projet, les valeurs relatives de q , e , i , et l'angle de calage.

§ 80. *Echelle.* — On recherche les valeurs absolues de ces éléments de la distribution d'après la méthode indiquée au § 69 ; on détermine le découverture maximum a de la lumière d'après une vitesse de circulation de vapeur u que l'on adopte.

En fixant cette valeur de u dans les locomotives, on obéit à une préoccupation : bien que, comme dans toutes les machines, on désire que la chute de pression à l'admission par le laminage soit le plus faible possible, on fait souvent passer au second plan cette considération ; en raison des grandes vitesses usitées dans les locomotives, on s'efforce plutôt de réduire les effets d'inertie et la fatigue du mécanisme et, dans le cas des tiroirs plans, de diminuer le travail de frottement et l'usure qui en résulte. Ce sont ces préoccupations qui justifient l'élévation des chiffres adoptés pour u et qui expliquent la chute rapide de la ligne d'admission au diagramme de travail (fig. 106).

Le tableau ci-après donne les valeurs de u correspondant à une vitesse de circulation de la locomotive égale à $7/10$ de la vitesse maximum ; il pourra être consulté utilement dans l'élaboration d'un projet ; partant de l'égalité $SV' = ahu$ nous avons posé $\frac{SV'}{h} = c$; c'est cette valeur que représente c au tableau. Les valeurs de u les plus faibles conviennent aux locomotives à marchandises, les plus élevées, aux machines d'express.

§ 81. — *Largeur des lumières.* — On a vu (§ 70) que cette largeur se détermine exclusivement en prévision de l'échappement de la vapeur : $SV' = a_1 hu_1$; $\frac{SV'}{h} = c = a_1 u_1$; le tableau indique les valeurs à adopter pour u_1 .

§ 82. — *Remarques. 1.* — Le canal d'admission dans la masse du cylindre à vapeur et à son débouché dans la paroi intérieure de celui-ci a une hauteur égale approximativement à $\frac{2}{3} D$, D étant le diamètre du cylindre ; on calcule sa largeur en adoptant les valeurs de u_1 servant au calcul de a_1 ; toutefois, ces chiffres étant plus élevés pour les tiroirs plans que pour les tiroirs cylindriques et cela pour des raisons pratiques (souci d'éviter les grands efforts d'inertie et les frottements exagérés), on admettra, dans le calcul de la section des canaux des tiroirs plans, les valeurs de u_1 convenant aux distributeurs cylindriques.

2. — Dans le calcul, d'après u et u_1 , des valeurs de a et a_1 , on doit, dans le cas des distributeurs cylindriques, compter comme hauteur des lumières non pas πd (d étant le diamètre intérieur du fourreau), mais une fraction seulement de ce chiffre, $0,7 \pi d$ à $0,75 \pi d$, pour tenir compte du rétrécissement des lumières par les cloisons.

Vapeur saturée.

		Admission du projet	Avance angulaire à l'admi.	U	$a = \frac{c}{u}$ ou $\frac{c}{2u}$	e recouvrement ext.	$\frac{Q}{\rho}$ excentrique	U ₁	$a_1 = \frac{c}{u_1}$ ou $\frac{c}{2u_1}$
Tiroirs plans	Simple expansion	Admission simple, échappement simple	15°5	155 à 175	0.0065 c 0.0057 c	0.0165 c 0.0146 c	0.0230 c 0.0203 c	45 à 50	
		" double, "	11°5	95 à 110	0.0052 c 0.0046 c	0.0152 c 0.0131 c	0.0204 c 0.0177 c	"	
		" " double	15°5	165 à 190	0.0031 c 0.0026 c	0.0078 c 0.0067 c	0.0109 c 0.0093 c	"	
	Compound H P	Admission simple, échappement simple	9°	105 à 120	0.0095 c 0.0084 c	0.0208 c 0.0183 c	0.0303 c 0.0267 c	35 à 40	
		" double, "	6°5	90 à 105	0.0055 c 0.0048 c	0.0190 c 0.0163 c	0.0245 c 0.0211 c	"	
		" " double	9°	115 à 135	0.0043 c 0.0037 c	0.0095 c 0.0081 c	0.0138 c 0.0118 c	"	
Tiroirs cylindriques	Compound B P	Admission simple, échappement simple	9°	90 à 105	0.0111 c 0.0095 c	0.0174 c 0.0150 c	0.0285 c 0.0245 c	40 à 45	
		" double, "	6°5	55 à 65	0.0091 c 0.0077 c	0.0153 c 0.0129 c	0.0244 c 0.0206 c	"	
		" " double	9°	100 à 115	0.0050 c 0.0043 c	0.0078 c 0.0068 c	0.0128 c 0.0111 c	"	
	Simple expansion	Admission simple, échappement simple	15°5	115 à 140	0.0087 c 0.0071 c	0.0223 c 0.0183 c	0.0310 c 0.0254 c	40 à 45	
		" double, "	11°5	75 à 85	0.0067 c 0.0059 c	0.0193 c 0.0170 c	0.0260 c 0.0229 c	"	
		" " double	15°5	130 à 155	0.0038 c 0.0032 c	0.0099 c 0.0083 c	0.0137 c 0.0115 c	"	
Compound H P	Admission simple, échappement simple	9°	90 à 100	0.0111 c 0.0100 c	0.0244 c 0.0222 c	0.0355 c 0.0322 c	30 à 35		
B P	" " "	9°	80 à 90	0.0125 c 0.0111 c	0.0196 c 0.0175 c	0.0321 c 0.0286 c	35 à 40		

Vapeur surchauffée

		Admission du projet	Avance angulaire à l'admi.	U	$a = \frac{c}{u}$ ou $\frac{c}{2u}$	e recouvrement ext.	$\frac{e}{Q}$ excentri. fictive	U ₁	$a_1 = \frac{c}{u_1}$ ou $\frac{c}{2u_1}$
Tiroirs cylindriques	Simple expansion	Admission simple, échappement simple	15°5	130 à 150	0.0077 c 0.0067 c	0.0197 c 0.0171 c	0.0274 c 0.0238 c	45 à 50	
		" double, "	11°5	80 à 95	0.0062 c 0.0053 c	0.0181 c 0.0152 c	0.0242 c 0.0205 c	"	
		" " double	15°5	145 à 165	0.0034 c 0.0031 c	0.0088 c 0.0078 c	0.0122 c 0.0109 c	"	
	Compound HP	Admission simple, échappement simple	9°	110 à 120	0.0091 c 0.0083 c	0.0199 c 0.0183 c	0.0290 c 0.0266 c	35 à 40	
	" BP	" " "	9°	85 à 100	0.0117 c 0.0100 c	0.0185 c 0.0157 c	0.0302 c 0.0257 c	40 à 50	

Les valeurs de e et e portées au tableau peuvent être obtenues directement sur l'épure de Zeuner établie avec les données (admission du projet et avance angulaire à l'admission) indiquées en regard ; l'échelle est fournie par la valeur correspondante de a ; ou bien, on peut les trouver par le calcul en observant les relations géométriques qui les lient, sur l'épure, aux données précitées (§ 6, 4°).

Au point où en est le projet, trois choses seulement sont acquises définitivement : les deux recouvrements et la largeur des lumières. L'excentricité OP trouvée n'est que l'excentricité fictive correspondant à l'admission du projet. Il reste à déterminer l'excentricité réelle et son angle de calage ; mais cette recherche nécessite la connaissance du type de distribution à réaliser.

b) *Distribution de Walschaerts.*

§ 83. — *Recherche de l'excentricité fictive pour le degré d'admission maximum (75 %).*

On sait que, dans cette distribution, la ligne des excentriques fictifs est une droite perpendiculaire à la d. m. t. Les extrémités des excentricités fictives se trouvent donc toutes sur QPH (fig. 106), perpendiculaire à MO.

D'autre part, on a vu (§ 6, 2°) que dans l'épure de Zeuner, l'extrémité de chacune de ces excentricités se trouve aussi sur la tangente au cercle du recouvrement extérieur e menée à l'intersection de ce cercle avec la direction de la manivelle en fin d'admission.

Il suffit donc de porter $MR = 75\%$ ou $75\ m/m$ (§ 69) et de relever le point R en S pour obtenir la position voulue de la manivelle ; puis, par T, intersection de OS avec le cercle de rayon e , de mener une tangente à celui-ci ; l'excentricité fictive pour l'admission de 75 % est en OH.

§ 84. — *Recherche du rapport des segments du levier d'avance.*

La connaissance de l'excentricité fictive OH correspondant aux positions extrêmes du coulisseau dans la coulisse entraînerait, dans les autres distributions, celle de l'angle de calage. Dans la coulisse Walschaerts, on sait que cette excentricité fictive doit être considérée comme la résultante 1° de celle QH provenant de l'excentrique réel ; 2° de celle QO provenant du mouvement du piston. La connaissance de l'excentricité fictive entraîne donc immédiatement celle de $QO = R \times \frac{n}{m}$

c'est-à-dire du rapport $\frac{n}{m}$ des segments du levier d'avance.

§ 85. — *Longueur du levier d'avance et position du point d'attaque G (fig. 107).*

Le projet de locomotive donne la distance horizontale entre l'axe de l'essieu moteur et le cylindre et la hauteur de la glace au-dessus de l'axe du cylindre ; on peut donc déterminer le plan vertical jusqu'où l'extrémité R du levier d'avance peut s'approcher du cylindre ; à une distance $2R$ (R rayon de la manivelle) en arrière, on a le plan vertical qui limitera, vers l'arrière, l'oscillation de ce levier.

Pour ne pas avoir de déplacement angulaire trop fort du levier d'avance, on prend $m = (1,2 \text{ à } 1,4) 2 R$; on en tire la valeur de n ; on place le levier dans sa position verticale ; c'est alors que son extré-

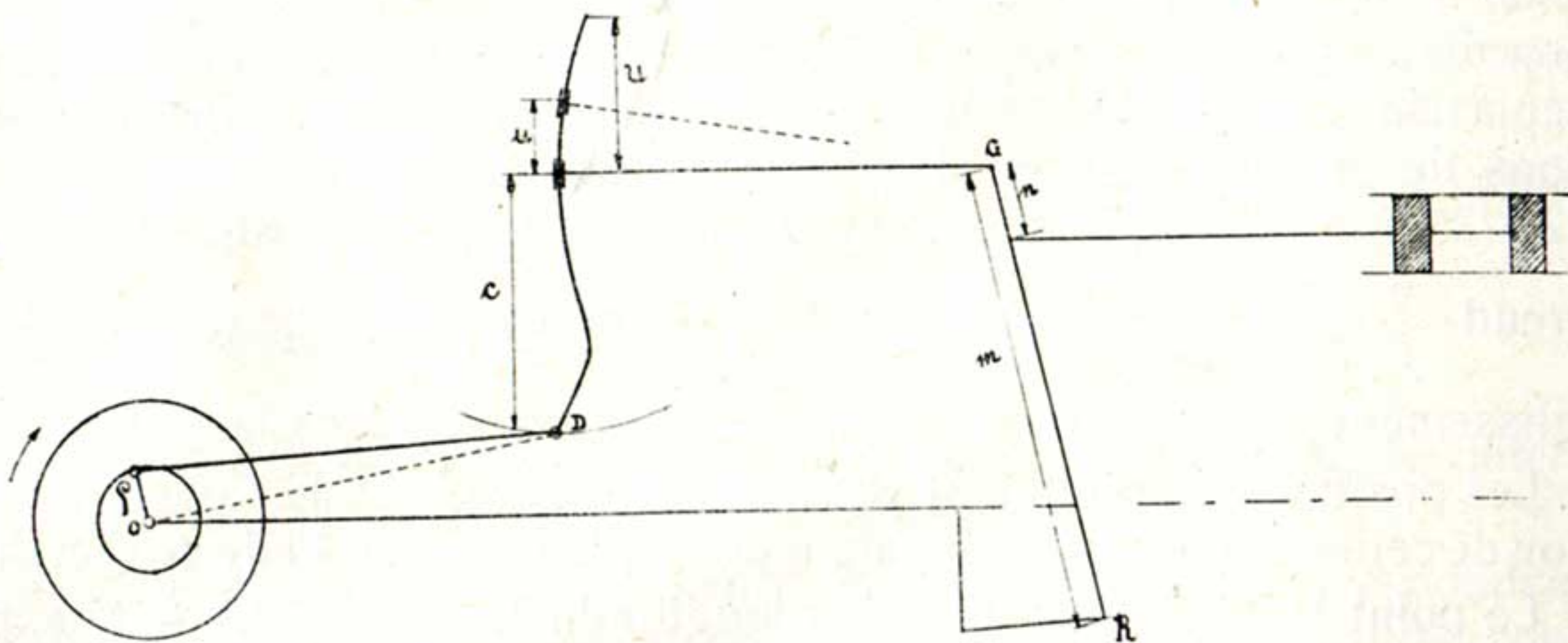


Fig. 107.

mité inférieure est la plus basse ; on vérifie qu'il n'empiète pas sur le gabarit ; s'il peut descendre davantage, on l'allonge, ce qui donne deux nouvelles valeurs de n et m et fixe définitivement le point G.

§ 86. — *Centre d'oscillation de la coulisse.*

Ce point doit se trouver en direction longitudinale, approximativement à mi-distance entre l'essieu moteur et la position moyenne du point G ; la bielle d'excentrique et la bielle de commande du levier d'avance ont ainsi approximativement la même longueur. En hauteur, sa position est déterminée par la condition ci-après.

§ 87. — *Position du point d'attaque D de la coulisse. Amplitude du déplacement du coulisseau dans la coulisse. Excentricité.*

Pour que la distribution fonctionne avec le maximum de régularité, en d'autres termes, pour que la réalisation du mécanisme traduise le plus exactement la théorie, il faut (fig. 75) que la droite OD et celle unissant l'axe d'oscillation de la coulisse au point d'attaque Q du levier d'avance par la bielle de commande du tiroir, soient toutes deux parallèles à la tige du tiroir (à la d. m. t.). Ce point d'attaque s'élevant et s'abaissant légèrement au cours des oscillations du levier d'avance (planche I et II), c'est sa position moyenne en hauteur qu'il faut entendre.

(La distribution représentée fig. 107 est donc défectueuse à ce point de vue : la d. m. t. étant parallèle à la d. m. p., le point D devrait se trouver sur la d. m. p.).

Le déplacement maximum du point G (fig 107) est alors égal à $\varrho \times \frac{U}{c}$. Il peut s'obtenir : 1° par une faible oscillation de la coulisse (effet de ϱ et de c) et une forte valeur de U ; 2° par une forte oscillation de la coulisse et une faible valeur de U . Pour éviter un trop grand déplacement du coulisseau tout en se gardant de trop fortes oscillations de la coulisse (voir § 66), on adopte une valeur maximum de $22\ 1/2^\circ$ pour γ (moitié de l'angle d'oscillation, § 41), c'est-à-dire qu'on prend $\frac{\varrho}{c} < \frac{1}{2,6}$; on empêche ainsi une usure rapide de la coulisse (glissement important du coulisseau) et du trouble dans la distribution.

Les positions du point d'attaque D de la coulisse et de l'axe d'oscillation de celle-ci fournissent la valeur de c , qui détermine celle de U et de ϱ .

Le point D se fixe, en direction longitudinale, ainsi qu'il a été expliqué au § 43.

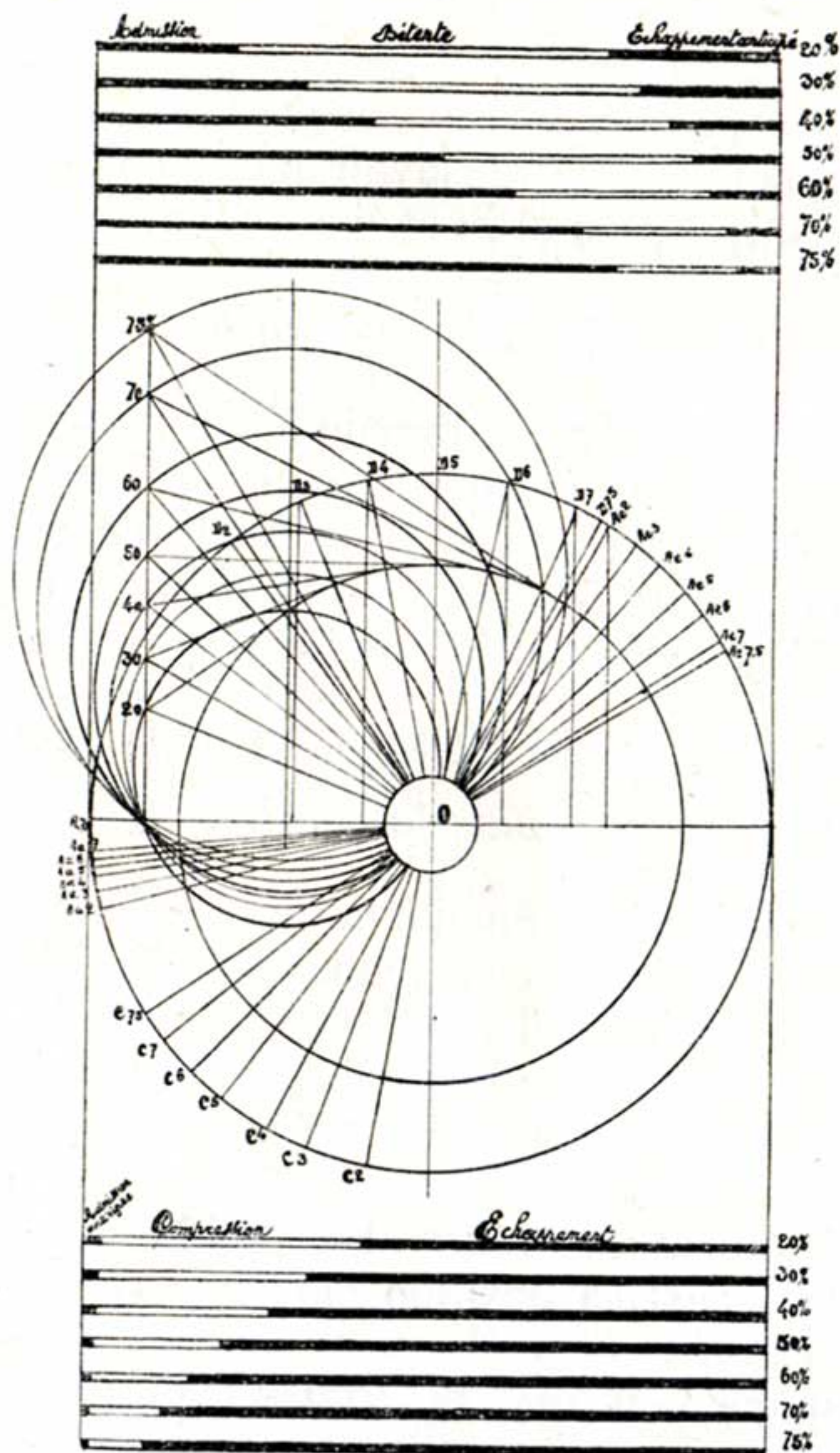


Fig. 108.

§ 88. — *Calage de l'excentrique en avant ou en arrière de la manivelle.*

On désire généralement, pour une meilleure sollicitation des paliers d'axe de coulisse, que le coulisseau se trouve dans la partie inférieure de la coulisse pour la marche avant ; c'est ce qui détermine l'orientation de l'angle de calage.

En ce qui concerne la valeur de cet angle, on se reportera à ce qui a été dit au § 44.

§ 89. — *Première vérification du projet.*

Cette vérification doit se faire avant qu'on se soit occupé de déterminer les dimensions du mécanisme extérieur.

Elle consiste dans l'examen attentif des six phases qui correspondent aux diverses admissions ; on s'assure que les éléments adoptés conviennent ; on se sert, dans ce but, de l'épure de Zeuner ; les excentriques fictifs se déterminent à l'aide de la tangente à la circonférence de rayon e de la verticale correspondant à l'avance à l'admission.

Les phases obtenues ne sont pas rigoureusement exactes (il n'est pas tenu compte de l'obliquité) mais l'approximation est très suffisante pour le but que l'on poursuit.

§ 90. — *Seconde vérification.*

Quant l'avant projet est établi, il est nécessaire de procéder à un examen rapide de la disposition trouvée. Nous avons montré antérieurement, à l'aide de l'épure circulaire, qu'il n'est pas possible d'obtenir à la fois l'égalité des avances, des admissions et des découvements, à l'avant et à l'arrière ; mais si cette épure est exacte pour une distribution simple (composée de deux mécanismes : tige, bielle, manivelle), il n'en est plus de même pour les distributions à coulisse, spécialement pour la distribution Walschaerts ; il existe ici une foule de leviers, tringles, bielles, de l'obliquité ni de la position desquels l'épure circulaire ne tient pas compte ; c'est ce qui explique qu'une modification de longueur ou de position de certains organes de la distribution extérieure (spécialement de l'axe d'oscillation de la coulisse et du point d'attaque de celle-ci par la bielle d'excentrique) peut améliorer les valeurs des éléments cités ci-dessus (avances etc.)

Dans cet examen, on recherchera *d'une manière simple, s'il est vraisemblable* qu'à des écarts égaux du piston, à partir de ses points morts, correspondront des écarts égaux du tiroir à partir du milieu de la glace, c'est-à-dire, des découvements de lumière égaux (avances et ouvertures maxima) et des admissions égales à l'avant et à l'arrière.

Voici comment on procède : (planche I, tiroir cylindrique).

On sait qu'en fin d'une admission quelconque, le point du levier d'avance attaquant la tige de tiroir se trouve toujours à la distance e de sa position moyenne (§ 45). Il suffit donc pour obtenir la position du levier d'avance de déterminer la position de son extrémité inférieure.

Marquons sur la circonférence de la manivelle les positions du bouton pour les admissions $1/10$, $2/10$, $3/10$, etc., à l'avant et à l'arrière du piston.

Traçons les positions correspondantes du bouton d'excentrique.

L'extrémité inférieure du levier d'avance décrit une courbe ∞ lemniscate (planche II). Pour la simplicité, du tracé remplaçons cette courbe par un arc de cercle passant par les deux positions extrêmes $0,10$, et par la position la plus basse (celle-ci se détermine en portant verticalement la longueur $(m - n)$ à partir de la tige du tiroir.

Cet arc étant tracé, nous pouvons marquer les diverses positions de l'extrémité inférieure du levier et par suite tracer les positions successives de celui-ci. L'extrémité supérieure se trouve à la distance n de chacun des points de convergence.

Les diverses positions de la coulisse peuvent se tracer à l'aide d'un gabarit. Les positions du coulisseau se déterminent par les intersections de la coulisse avec les arcs de cercle tracés de 1; 2, 3,... comme centre avec la bielle de commande du tiroir comme rayon.

Pour que la distribution conçue soit acceptable, il faut :

1° que les points correspondants tels que 4 et IV se trouvent horizontalement à la même distance, à peu de chose près, de la position d'avance de la coulisse ; ce sera une forte présomption en faveur de l'égalité des écarts du tiroir aux divers moments de la course pour des écarts égaux du piston à partir de ses points morts.

2° que les glissements au coulisseau soient très faibles, pour les diverses positions marquées (longueur g).

On recherchera par tâtonnements le cas échéant, de nouvelles positions, notamment de D et E, qui soient plus favorables. Quand on aura obtenu des conditions satisfaisantes, on tracera la suspension de façon qu'elle ne vienne pas troubler les résultats acquis (§ 46).

§ 91. — *Troisième vérification.*

La distribution semblant maintenant au point, on procède à la dernière vérification, consistant à relever les déplacements exacts du tiroir, et cela aux diverses admissions (planche II).

On divise les circonférences de la manivelle et de l'excentrique en un même nombre de parties égales. On marque les positions correspondantes de la manivelle et de l'excentrique.

On cherche les diverses positions du point d'attaque de la coulisse.

On place la bielle de relevage dans la position convenable pour le degré d'admission envisagé.

On trace les différents arcs de cercle sur lesquels devra se trouver l'extrémité inférieure du levier d'avance.

Cela étant, on construit :

1° un gabarit de la bielle de commande du tiroir portant :

- a) l'articulation au coulisseau, qui devra se déplacer sur la coulisse ;
- b) l'articulation à la bielle de relevage, qui devra se déplacer sur l'arc de cercle ayant le point de suspension comme centre ;
- c) l'articulation au levier d'avance.

2° un gabarit du levier d'avance portant :

- a) l'articulation à la bielle de commande ;
- b) le guidage en ligne droite de la tige de tiroir ;
- c) l'extrémité inférieure.

Ces deux gabarits devront être articulés l'un à l'autre (par une épingle, par exemple) comme dans la position naturelle des organes.

3° un gabarit de la coulisse avec l'axe d'oscillation de celle-ci et son extrémité inférieure.

Pour la position 1 de la manivelle, on place la coulisse dans sa position correspondante ; on la fixe, par un presse-papier, par exemple.

On place les deux autres gabarits de façon que les divers points que nous avons mentionnés plus haut se trouvent sur leurs guidages respectifs.

On détermine ainsi la position exacte du coulisseau et celle du levier d'avance.

On procède de même pour un certain nombre d'admissions.

Le levier d'avance donne les déplacements exacts du tiroir. Ces déplacements peuvent être relevés et servir à la confection de l'épure elliptique.

On obtient donc une ellipse pour chaque admission.

§ 92. — Cette détermination est assez longue, mais elle fournit des résultats rigoureusement exacts. Elle dispense de devoir recourir à l'utilisation des modèles en bois dont on a fait grand usage autrefois.

La fig. 109 reproduit un modèle pour distribution Stephenson ; la coulisse et les diverses tringles sont réalisées par des lattes en bois, la manivelle et le ou les excentriques seuls sont en fer. Le tiroir et le piston sont figurés par deux planchettes L et L', guidées par des rainures T et t, et dont les mouvements sont établis à angle droit ; à

cet effet la bielle de commande de tiroir communique le mouvement de la coulisse à la planchette L' à l'aide d'une corde *u* tendue fortement par une lanière en caoutchouc.

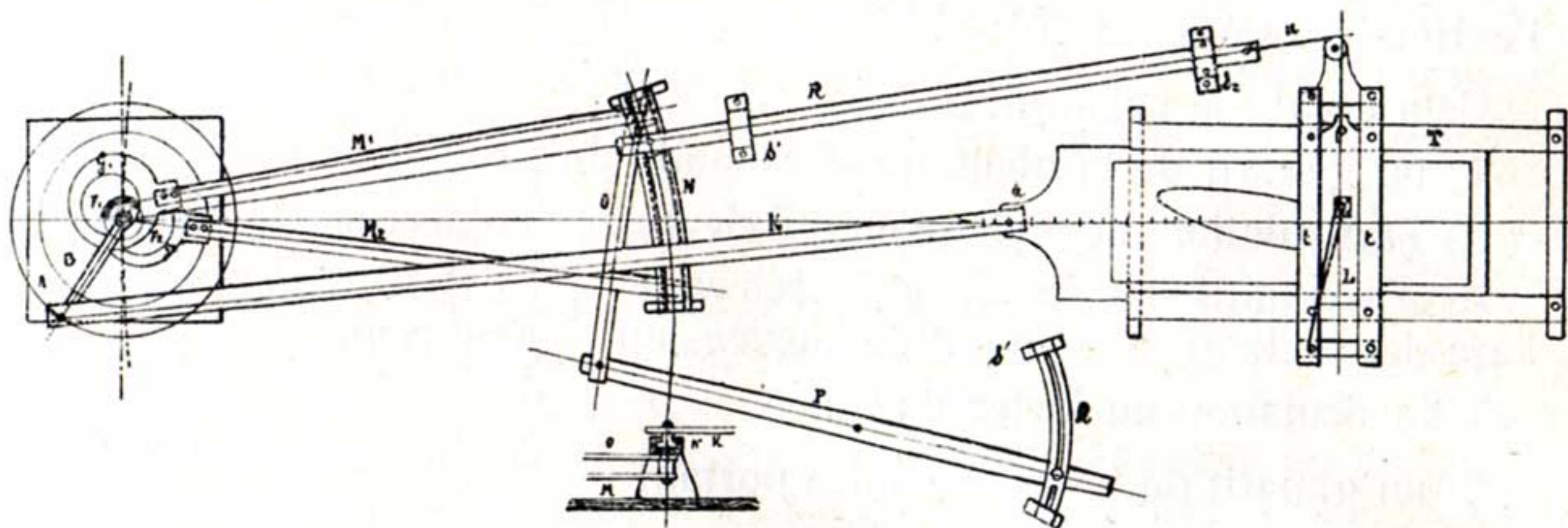


Fig. 109.

La planchette représentant, le tiroir porte un tube en cuivre X qui sert d'étui à un crayon ; celui-ci traverse la planchette, et sa pointe, pressée par un petit ressort, s'appuie convenablement sur une feuille de papier que l'on assujettit sur la planchette du piston. Les choses ainsi disposées, si l'on imprime à la poignée de la manivelle un mouvement de rotation, planchettes et crayon se mettent en mouvement et l'on obtient la courbe elliptique de la distribution pour un trou de roues. Mais, pour tirer parti de cette figure, il faut placer la manivelle à chacun de ses points morts, puis, fixant les vis de la rainure *t* et détachant le lien *u* pour rendre le crayon immobile, opérer ensuite une rotation pour obtenir ainsi chaque fois un trait rectiligne parallèle à l'axe du piston et qui représente l'arête extérieure de chacune des lumières.

On peut encore étudier les effets du mécanisme sur la distribution en collant une bande de papier sur l'une des règles *t*, sur laquelle on dessine le profil des lumières du cylindre ; et une seconde bande de papier sur la planchette L' figure le profil du tiroir, dont on peut modifier à son gré les dimensions et les positions relatives des barrettes.

Le tracé des courbes elliptiques confirme que, pour chaque position du coulisseau, le tiroir se meut comme s'il était conduit directement par un excentrique car les courbes elliptiques ne diffèrent pas de celles qu'on obtient avec une distribution simple (sans coulisse). Dès lors on est en droit de faire usage des excentriques fictifs, ce qui simplifie la question de la distribution proprement dite.

L'étude d'un mécanisme à coulisse se réduit donc à rechercher la disposition la plus avantageuse pour le relevage et la suspension, en

combinant les trajectoires, de manière à réduire le glissement du coulisseau et à régulariser autant que possible les périodes sur les deux faces du piston. A ce point de vue, la méthode des gabarits est avantageuse.

c) *Autres distributions.*

§ 93. — *Méthode générale.* Si on peut, dans la coulisse de Gooch, passer facilement de l'excentricité fictive pour le degré d'admission du projet à celle correspondant au degré d'admission maximum, et cela, du fait que la course des excentriques fictifs est une droite connue, il n'en est plus de même dans les deux autres distributions. Avec celles-ci, il faut d'abord rechercher la courbe des excentriques fictifs, soit par le calcul, soit par tâtonnement.

L'excentricité fictive pour le degré d'admission maximum ne se confondant pas, dans le cas des coulisses de Gooch et d'Allan (fig. 63-66) avec l'excentrique réel, il faut encore, pour obtenir celui-ci, connaître la position et la grandeur de la coulisse, ce qui fournit l'angle β ; comme avec la distribution Walschaerts, c'est l'angle d'oscillation maximum qu'on s'impose pour la coulisse qui détermine la longueur de celle-ci.

L'angle d'oscillation admissible varie d'une distribution à l'autre en raison des conditions différentes de fonctionnement : on peut poser comme principes : 1° que là où les oscillations se font toujours symétriquement à la perpendiculaire à la d. m. t. (Gooch, Walschaerts), cet angle peut atteindre les valeurs les plus élevées ; 2° que ses valeurs doivent être le plus faibles dans les distributions où les bielles d'excentrique prennent la plus forte obliquité au cours d'une rotation de l'essieu.

On ne dépassera pas pour l'angle γ (demi-oscillation) :

22 1/2° à la coulisse Walschaerts.

19 1/2° à la coulisse de Gooch.

18° à la coulisse de Stephenson.

17° à la coulisse d'Allan (faible longueur de la bielle d'excentrique).

Il est utile de laisser, dans toutes les distributions, un jeu de 5 m/m vers le haut, de 10 m/m vers le bas, entre la position extrême calculée du coulisseau et le fond de la coulisse, en raison de l'action des ressorts et en prévision de l'usure des articulations.

Distribution de Gooch.

§ 94. — *Excentricité fictive pour le degré d'admission maximum.*

La ligne des excentriques fictifs étant une droite perpendiculaire à la d. m. t. comme dans la distribution Walschaerts, l'excentricité fictive

pour le degré d'admission maximum sera OH (fig. 106) comme dans le cas de cette dernière distribution.

§ 95. — *Longueur de la coulisse. Amplitude du déplacement du coulisseau.*

On a vu, au § 32, que l'angle d'oscillation de la coulisse est donné par $\sin \gamma = \frac{DD'}{2c}$ (fig. 63), $2c$ étant la longueur de la coulisse.

DD' est à mesurer sur l'épure de Zeuner ; il est égal à $2QH$ (fig. 106).

Pour que l'angle d'oscillation ne soit pas trop grand (§ 66), on prend $\gamma < 19\frac{1}{2}^\circ$, ce qui fournit la valeur de c .

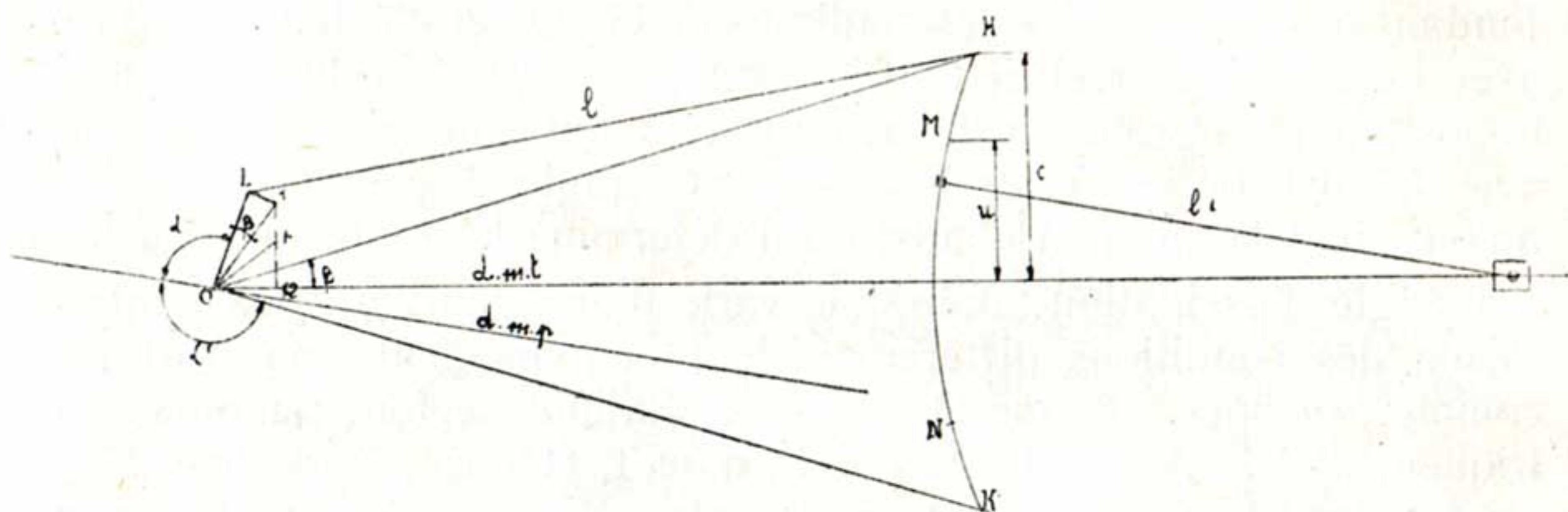


Fig. 110.

Dans le cas où les points K et K', articulations de la coulisse aux bielles d'excentrique, ne peuvent être atteints par le coulisseau, dont les positions extrêmes se trouvent en M et N (fig. 110), OH (fig. 106 et 110) est l'excentrique fictif correspondant à la position M du coulisseau ; l'excentrique fictif conduisant l'articulation K est en OI, I étant déterminé par la condition $\frac{OI}{OH} = \frac{c}{U}$; c'est cette valeur de OI qui devient égale à DD' (fig. 63) et qui est à considérer dans le calcul de c au moyen de $\sin \gamma$

$$\sin \gamma = \frac{2 OI}{2c} = \frac{2 OH}{2U}$$

§ 96. — *Emplacement de la coulisse. Recherche de l'excentrique réel et de l'angle de calage.*

Le projet de locomotive donne la longueur disponible pour la distribution ; cette longueur devra, en général, être complètement utilisée

avec la distribution de Gooch, qui est plus longue que la Stephenson ; l'emplacement de la coulisse est donné par le rapport $\frac{l}{l_1}$; on peut prendre l égal à 0,5 à 0,55 de la longueur disponible.

La position et la longueur de la coulisse font connaître l'angle β ; il suffit de porter cet angle adjacent à OH ou OI, selon le cas, pour obtenir à la fois l'excentricité réelle OL et les angles de calage α et α' .

§ 97. — *Distribution de Stephenson.*

Cette distribution, beaucoup plus courte que les autres, n'utilise pas complètement la longueur disponible d'après le projet de locomotive ; la longueur l des barres d'excentriques est prise égale à 2,3 à 2,8 fois la course du piston ; elle est ainsi très suffisante.

L'angle d'oscillation de la coulisse est variable selon la position du coulisseau (§ 24) ; il est donné par $\sin \gamma = \frac{DD''}{2c}$ (fig. 58) ;

pour le coulisseau au centre, on prend $\gamma < 18^\circ$; mais l'épure de Zeuner ne donne plus DD'' comme dans le cas de la coulisse de Gooch ; on ne peut donc plus déterminer immédiatement la longueur de la coulisse ; on ne peut davantage trouver directement l'excentrique réel ni l'angle de calage, car on ne connaît pas la courbure de la ligne des excentriques fictifs. Force est donc, dans la détermination des éléments encore inconnus de la distribution, d'agir par tâtonnement ; voici comment on procède.

On se fixe d'abord des valeurs approximatives de l'excentricité réelle ϱ et de l'angle d'avance δ ; d'après la longueur des barres d'excentriques et la valeur de $\sin \gamma$ donnée plus haut pour le coulisseau au centre de la coulisse, on détermine, par tâtonnement encore, l'angle β et la longueur de la coulisse.

D'après ces éléments, on obtient le rayon de courbure de la ligne des excentriques fictifs (§ 22).

$$r = \frac{l}{2c} \varrho \cos \delta.$$

- On trace 1° le cercle d'excentricité ϱ ;
 2° la tangente en T au cercle du recouvrement extérieur ;
 3° la ligne d'excentriques fictifs passant par P, avec le rayon r indiqué ci-dessus.

Cette dernière ligne rencontrera la tangente en un point E qui ne se trouvera généralement pas, comme il le devrait, sur la circonférence de rayon r .

On recommencera les opérations en adoptant l'excentricité e' et l'angle d'avance δ' donnés par le point E ; en prenant les valeurs correspondantes de l'angle β et de la longueur de coulisse ; et cela

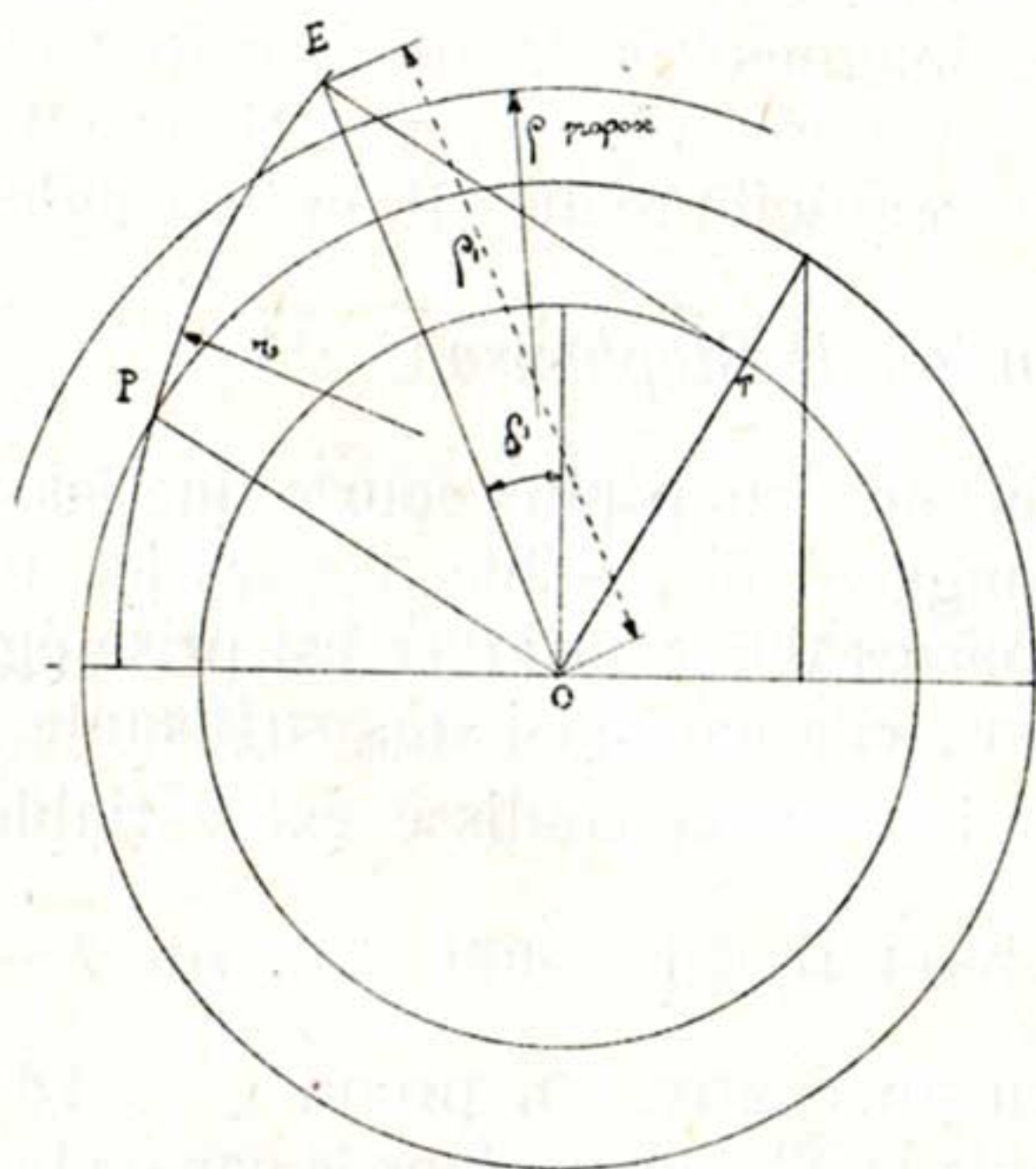


Fig. 111.

jusqu'au moment où le point E, obtenu comme il est dit ci-dessus, arrive à se trouver sur la circonférence de l'excentricité choisie. Ce point E détermine l'excentricité et l'angle d'avance et, par suite, les angles de calage.

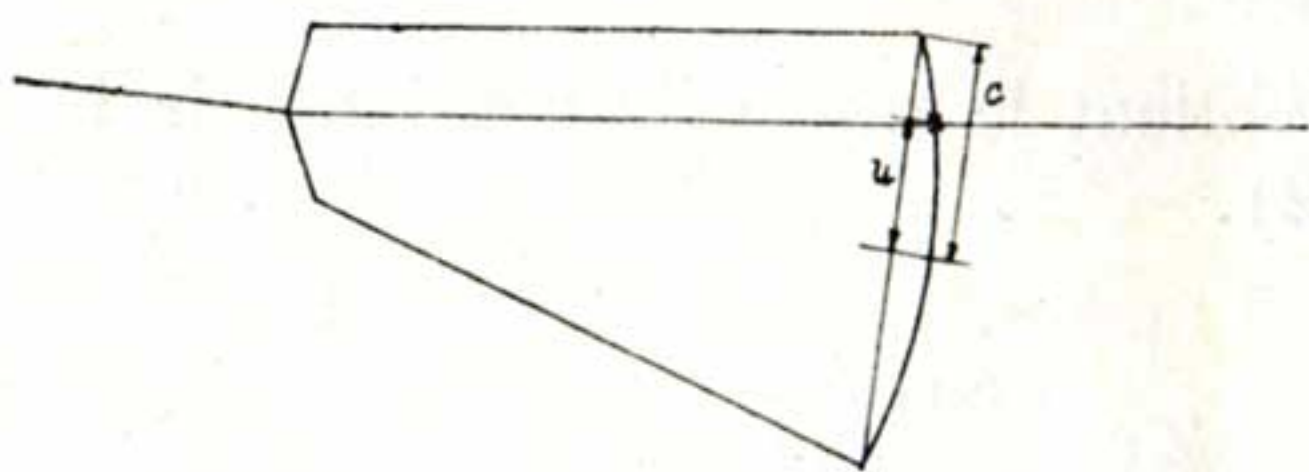


Fig. 112.

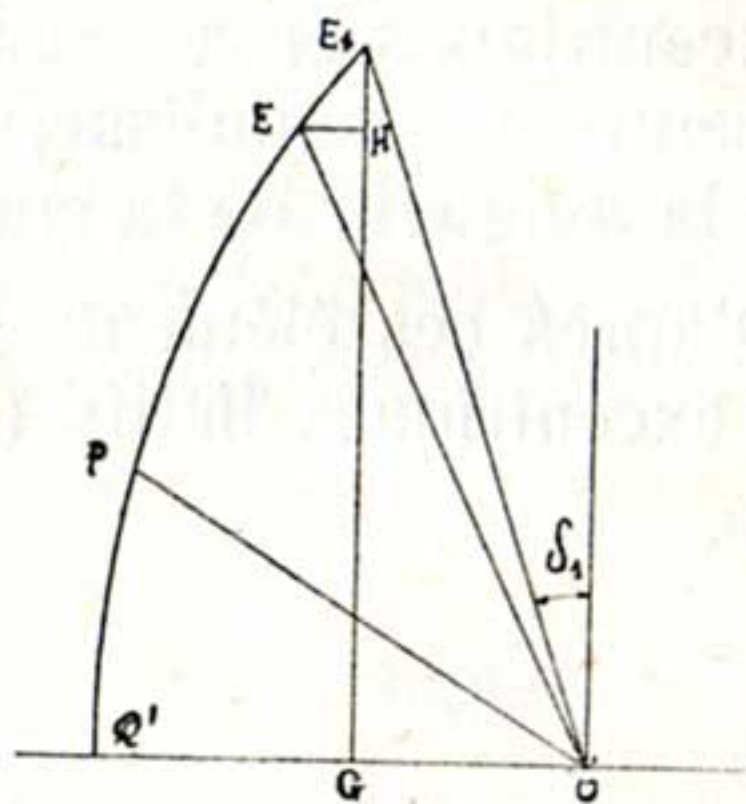


Fig. 113.

Dans le cas où toute l'étendue de la coulisse n'est pas accessible au coulisseau, on en tient compte pour se donner les valeurs provisoires de β et de la longueur de la coulisse ; quand le point E est fixé définitivement, l'excentrique OE n'est encore que l'excentrique fictif correspondant à la position extrême du coulisseau ; le bouton d'excentrique

E_1 se trouve sur la même ligne d'excentriques fictifs et est obtenu (§ 22) en prenant $\frac{GE_1}{GH} = \frac{c}{U}$.

L'excentrique réel est OE_1 et l'angle d'avance est δ_1 .

§ 98. — *Distribution d'Allan.*

Comme celle de Gooch, cette distribution nécessite, en général, l'utilisation de toute la longueur disponible à la locomotive ; comme à cette même coulisse, on prend l , longueur de barre d'excentrique, égale à environ 0,55 de la longueur disponible ; une valeur plus faible aurait pour effet une longueur exagérée du bras b du balancier (fig. 68) ; quand on connaîtra la longueur $2c$ de la coulisse, on aura la longueur l_1 car $l_1 + \sqrt{l^2 - c^2} = \text{longueur disponible}$.

La remarque faite à propos de la distribution Stèphenson sur la difficulté de déterminer la longueur de coulisse en fonction de l'angle d'oscillation reste vraie ici ; il en est de même de l'impossibilité de trouver immédiatement l'excentricité et l'angle de calage ; la méthode par tâtonnement qui s'impose avec la distribution Stephenson ne peut donc non plus être évitée dans la distribution Allan.

La marche à suivre est analogue ; ici, on ne connaît pas le rayon de courbure de la ligne des excentriques fictifs (§ 35) ; après qu'on s'est donné ρ et δ , on détermine, par tâtonnement encore, et avec la valeur de $\gamma < 17^\circ$ pour le coulisseau au centre, la valeur convenable de β et la longueur de la coulisse, ce qui permet le tracé graphique de la courbe d'excentriques fictifs (§ 35) et fournit le rayon de celle-ci.

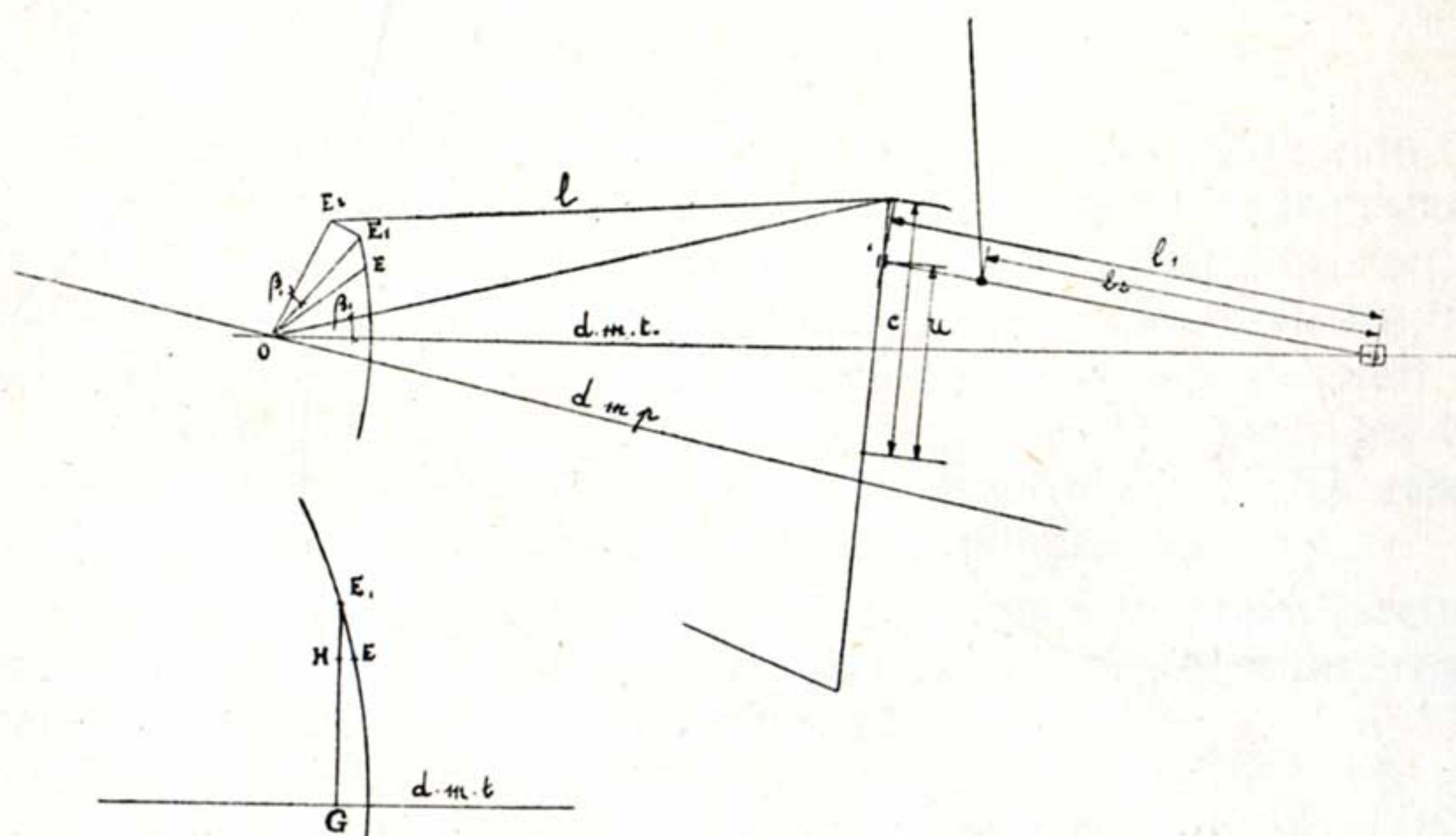


Fig. 114.

Quand on a trouvé le point E comme il a été dit pour la coulisse Stephenson, on doit se dire que OE est l'excentricité fictive correspondant à la position extrême du coulisseau dans la coulisse ; l'excentrique fictif OE_1 commandant l'articulation K est obtenu sur la courbe des excentriques fictifs en prenant $\frac{GE_1}{GH} = \frac{c}{U}$ (§ 35). L'excentrique réel OE_2 se détermine en portant l'angle β_1 , adjacent à OE_1 .

L'angle d'avance est α .

La position du point d'attaque de la bielle de commande du tiroir est liée (§ 38) au rapport des segments du balancier de relevage par

$$\text{la relation } \frac{b}{a} = \frac{l_2}{l_1} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{l_1}{l_2}} \right)$$

§ 99. — *Vérifications.*

Pour les trois types de distribution qui viennent d'être examinés, il y a lieu :

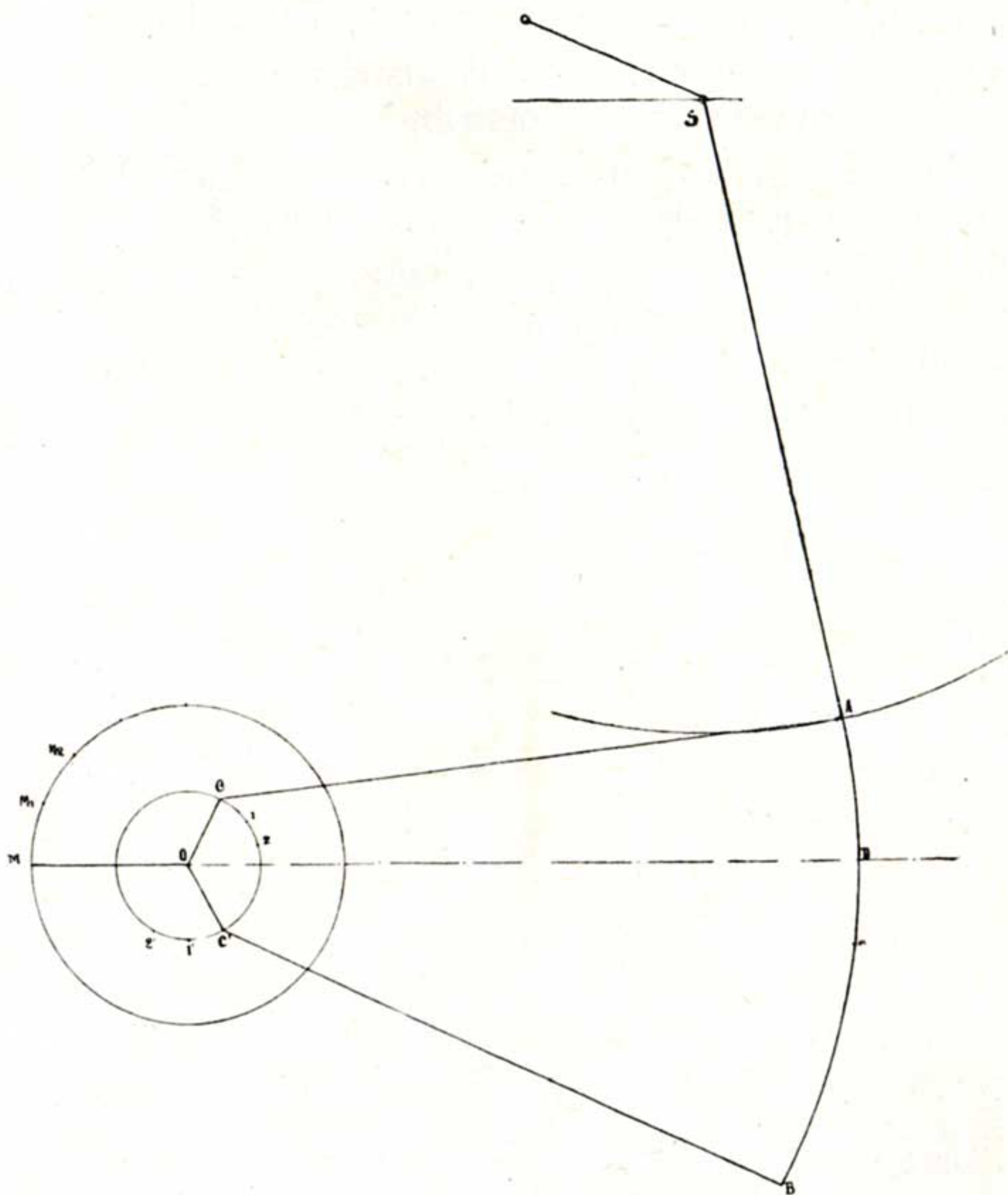


Fig. 115.

1° de faire l'examen des phases ainsi qu'il a été indiqué au § 89 ;
 2° de relever les déplacements exacts du tiroir aux diverses admissions et le glissement correspondant du coulisseau ; on procède à cette recherche au moyen du compas et d'un gabarit.

Dans le cas, par exemple, d'une distribution Stephenson dont la coulisse est suspendue par sa partie supérieure, on divise la circonférence de la manivelle et celle de l'excentricité en un même nombre de parties égales, les points de départ des divisions de la seconde circonférence étant successivement C et C'. Le point A se trouve à l'intersection des arcs tracés de C et S comme centres ; B est à l'intersection des arcs ayant comme centres A et C' ; D est à la rencontre de la coulisse (représentée par un gabarit dont les extrémités sont en A et B) avec



Fig. 116.

la d. m. t. Pour les positions $M_1, M_2 \dots$ de la manivelle, on détermine successivement les positions correspondantes de A, B et D. On trouve donc, pour la position indiquée du point de suspension S (c'est-à-dire pour une admission déterminée) les trajectoires de A et de B et les déplacements de D, c'est-à-dire du tiroir. On peut ainsi trouver le glissement du coulisseau et tracer l'épure elliptique. On refait l'opération pour d'autres admissions.

Si la coulisse était suspendue en son milieu et que les points d'attaque des barres fussent en dehors de l'axe, la recherche serait quelque peu différente. On déterminerait les arcs sur lesquels se trouvent respectivement A B et C (fig. 116) ; un gabarit de la coulisse étant tracé sur une feuille de papier calque, on le déplacerait sur l'épure jusqu'au moment où les trois points se trouvent sur leur trajectoire respective ; on en tirerait, sans construction géométrique, la position du coulisseau.

§ 100. — Construction du petit mécanisme.

En terminant cette étude du projet, nous appelons l'attention sur la nécessité de calculer largement les diverses parties du petit mécanisme de distribution (tringles et leviers) dans le but d'éviter les effets d'élasticité, spécialement dans le cas de graissage peu abondant des tiroirs. Nous renvoyons à ce sujet aux conclusions des essais de Herr (*) ; les diagrammes de travail relevés accusaient 795 HP avec des tiroirs plans bien graissés, 589 HP avec mauvais graissage. Des résultats analogues étaient obtenus avec les tiroirs cylindriques.

Ces chiffres sont à retenir ; ils montrent aussi la grave erreur que commettraient les directions des chemins de fer en poussant trop loin le rationnement des matières de graissage.

(*) Proceedings Western Railway Club. 96/97 page 244.

QUATRIEME PARTIE.

Réglage des distributions.

I. — Principe du réglage.

§ 101. — Une locomotive serait bien réglée, si les poids de vapeur admis à l'avant et à l'arrière des pistons étaient approximativement les mêmes et que la marche se fît librement et sans chocs.

La machine court librement lorsque les éléments de la distribution sont judicieusement choisis : avances convenables, compressions modérées. Tout ce que peut le réglage à ce point de vue, c'est de réaliser l'égalité des avances, à l'avant et à l'arrière du piston.

L'égalité des poids de vapeur admis à l'avant et à l'arrière ne vise pas tant à obtenir l'égalité complète des travaux des deux côtés du piston qu'à déterminer un tirage régulier dans le foyer ; on sait que la dépression produite dans la boîte à fumée par la décharge est fonction du poids de vapeur débité par la tuyère ; des coups de décharge de forces inégales, amèneraient un tirage par à-coups, nuisible à la combustion économique et au rendement de la chaudière. L'égalité des travaux est néanmoins désirable, mais elle n'est pas d'importance primordiale.

Le poids de vapeur introduit au cylindre, pas plus d'ailleurs que le travail enregistré au diagramme, ne résulte uniquement du volume admis, c'est-à-dire du degré de détente ; ils dépendent aussi de la pression de la vapeur travaillante. Les éléments principaux de nature à faire varier cette pression sont les avances à l'admission et à l'échappement et l'ouverture plus ou moins grande des lumières.

Une avance à l'admission trop faible a pour effet une réduction de pression au départ du piston, réduction qui continue à se faire sentir pendant toute la course.

Des découverts de lumières trop faibles produisent un laminage de vapeur, c'est-à-dire une diminution de pression motrice.

A ce point de vue, le réglage ne peut avoir d'action que sur la répartition des avances et sur les ouvertures des lumières.

Si l'égalité existait pour ces trois éléments (degré d'admission, admission anticipée, ouvertures des lumières), les travaux et les poids de vapeur de chaque côté du piston seraient égaux, la circulation se ferait librement et la distribution serait parfaitement réglée. Mais il n'est pas possible d'obtenir cette égalité, ne fût-ce que pour un seul cran de marche. Le réglage peut apporter l'égalité des avances à l'ad-

mission qui entraîne celle des avances à l'échappement ; mais alors les degrés d'admission réels et les ouvertures des lumières resteront différents.

A plus forte raison, cette égalité est-elle impossible à obtenir pour tous les crans de marche d'une distribution par coulisse et à la fois pour la marche avant et pour la marche arrière.

On est donc forcé de faire un choix.

On décide généralement de rechercher simplement l'égalité des avances, parce que cette égalité est extrêmement importante pour le tirage et pour le roulement de la locomotive. On néglige ainsi les petites différences qui se produisent dans les degrés d'admission et dans les ouvertures des lumières, à l'avant et à l'arrière du piston.

Ces différences, toutefois, sont très faibles quand on travaille à faible admission ; c'est ainsi qu'en pratique, au-dessous de 30 % d'admission, on peut considérer que l'égalité des avances entraîne l'égalité des découverts maxima et inversement ; cette remarque est à retenir, car elle permet le réglage par l'égalisation des grandes ouvertures : celles-ci étant faites égales, on en conclut que les avances, elles aussi, sont égales .

Pourquoi préfère-t-on, quand la chose est possible, régler une distribution par l'égalisation des ouvertures maxima ?

C'est que le réglage par égalisation directe des avances exige la détermination des deux points morts et cela pour chacune des deux manivelles. Cette recherche est longue et délicate.

Tel n'est pas le cas quand on règle par les ouvertures.

§ 102. — *Comment on trouve les points morts d'une manivelle.*

1^{re} Méthode. — Le piston étant arrêté dans une position voisine de son fond de course, on repère sur le guide la position *b* d'une extrémité du patin de crosse et sur le bandage de la roue motrice, le point

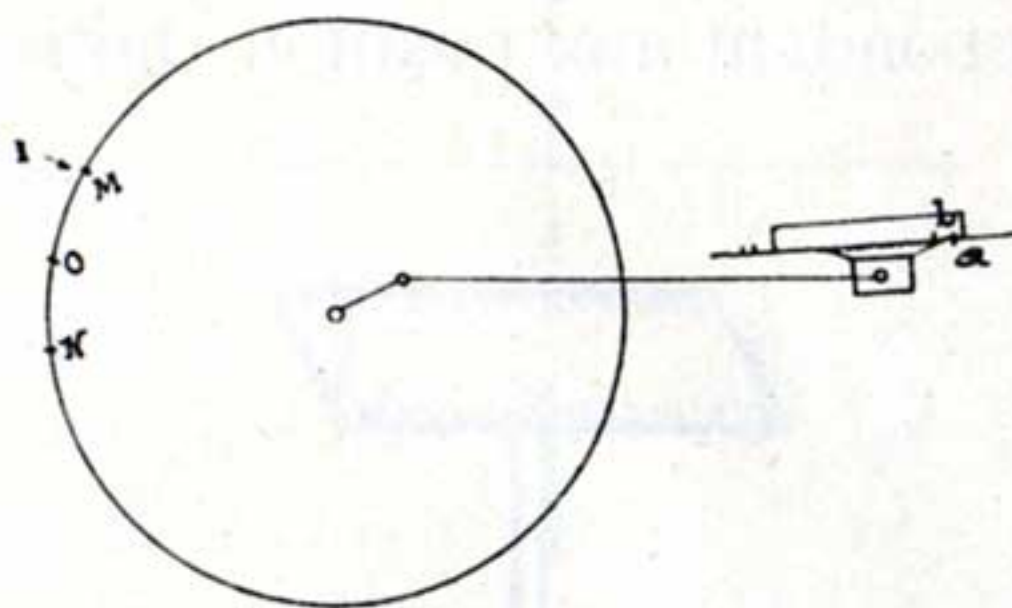


Fig. 117.

M, qui, à cet instant, se trouve en face d'un index *I* fixé en un point quelconque du châssis. On déplace la machine à la pince et on l'arrête de nouveau, lorsque, après avoir franchi le point mort *a*, le patin de

crosse a repris sa position *b*. On marque le point *N* de la roue qui se trouve alors en face de l'index *I*. Il suffit alors d'amener le point *O*, milieu de *MN*, en face de l'index *I* pour que la manivelle motrice soit exactement au point mort.

2^e méthode. — En cas de cylindres horizontaux extérieurs, tracer, sur le bout de l'essieu, une circonférence du diamètre du tourillon de manivelle motrice. Sur ce tourillon, on place une règle tangente au cercle tracé.

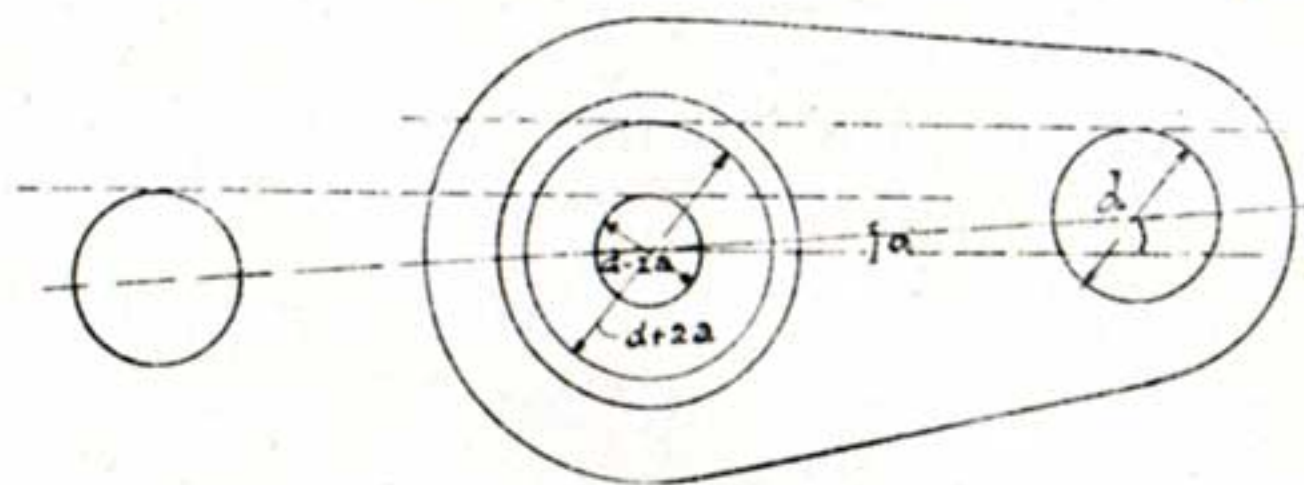


Fig. 118.

La locomotive, dont les boîtes doivent se trouver à bonne hauteur dans les entailles du longeron, est déplacée sur une voie bien horizontale, jusqu'au moment où le niveau placé sur cette règle marque l'horizontalité ; la manivelle se trouve alors exactement à son point mort.

Si les cylindres sont inclinés d'un angle α sur l'horizontale, il faut décrire, en bout d'essieu, deux circonférences, l'une ayant pour diamètre $d + 2a$, l'autre $d - 2a$, a étant égal à $l \sin \alpha$ ($l =$ longueur de la manivelle).

§ 103. — *Comment on relève la grandeur des ouvertures maxima.*

Pour mesurer ces ouvertures, on se sert d'une réglette graduée fixée à l'extrémité d'une petite tige. Le bord *O* est maintenu appuyé contre l'arête extérieure du tiroir ; il suffit de lire la graduation correspondant à l'arête de la table quand l'ouverture est maximum. Si les lumières sont difficilement accessibles, on peut se servir de repères tracés sur la tige du tiroir, correspondant aux positions initiales de découverture des lumières.

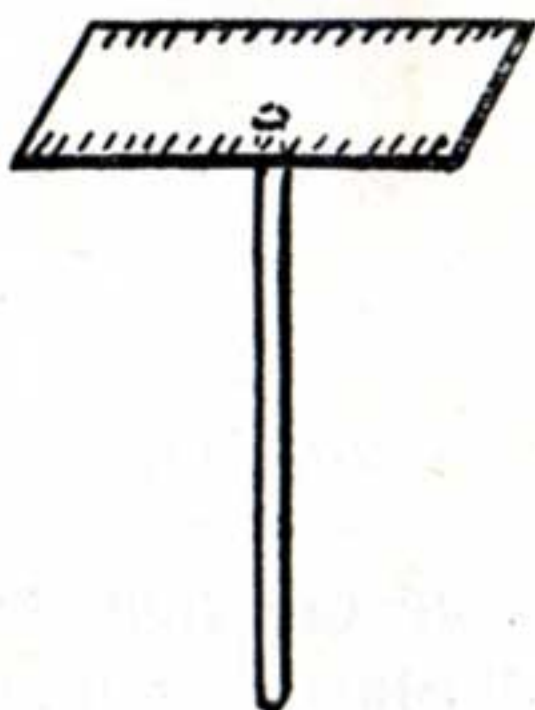


Fig. 118 bis.

§ 104. — *Dans quels cas peut-on régler une distribution par les ouvertures maxima et dans quels cas doit-on régler directement par les avances ?*

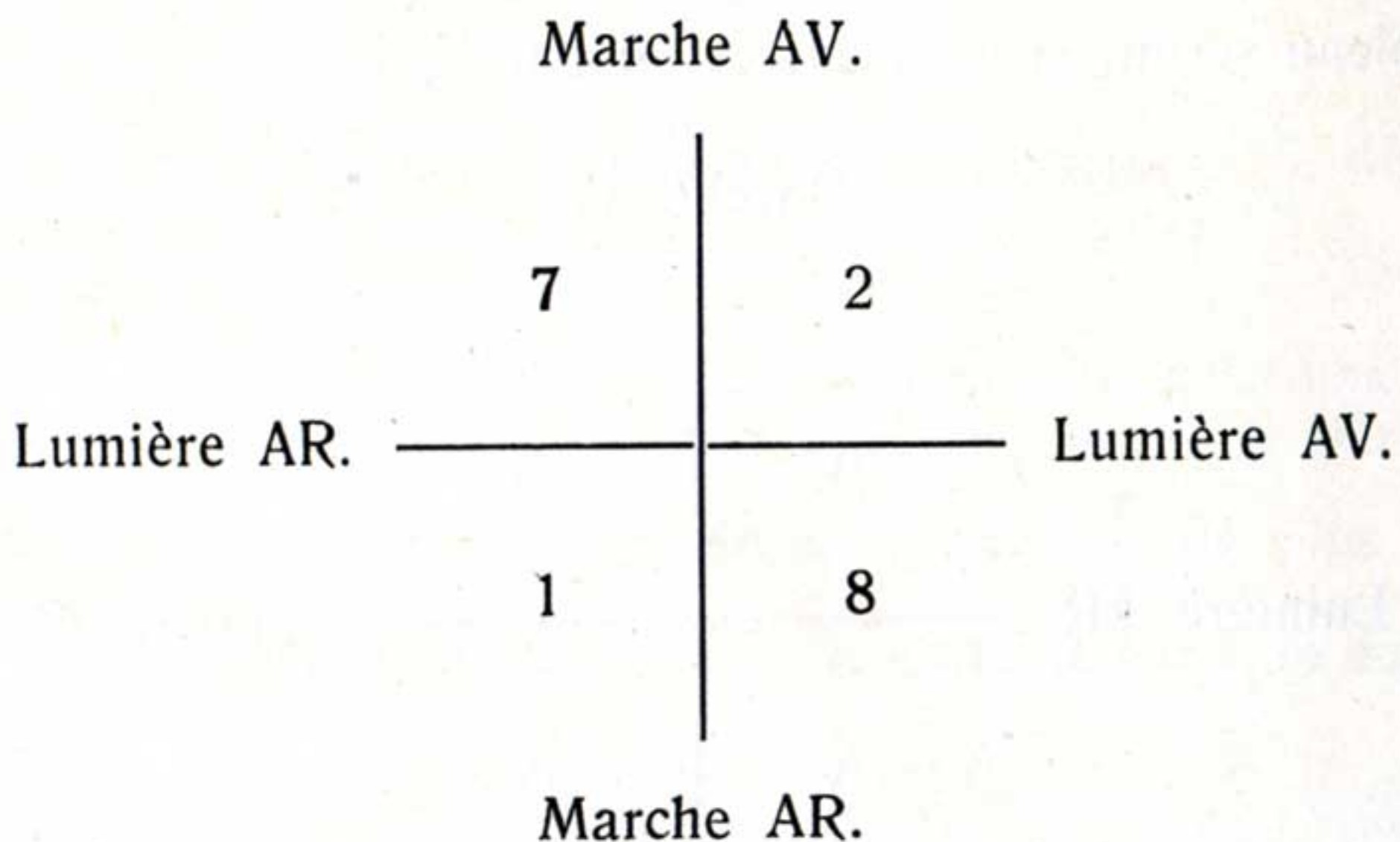
Quelle doit-être la position du levier de changement de marche lors du réglage.

Rappelons d'abord que, théoriquement, il est indifférent de régler les avances avec le levier à fond de course où dans une position intermédiaire ; on sait que l'égalité, une fois obtenue, subsiste à tous les crans de marche : c'est le fait de la courbure des coulisses (Stephenson, Gooch, Walschaerts) ou du rapport des longueurs des deux bras du balancier de l'arbre de relevage (Allan).

Pratiquement, on n'a à agir, pour obtenir l'égalité des avances (directement on non) que sur trois éléments : l'angle de calage, la longueur des barres d'excentriques, la longueur de la tige de tiroir. L'important est, d'abord, de savoir discerner les causes des inégalités qui apparaissent au tableau des chiffres relevés avant réglage, c'est-à-dire de déterminer le ou les organes défectueux ; ensuite, de préciser les corrections à apporter à chacun d'eux.

Nous allons examiner si les difficultés qui peuvent se présenter au cours de l'opération du réglage, ne sont pas de nature à fixer la méthode à adopter : réglage par les avances ou par les ouvertures, levier à fond de course ou non.

Disons d'abord que, quand on règle une distribution, on porte généralement les chiffres relevés (avances ou ouvertures maxima) dans un tableau du modèle ci-après :



Après réglage, le tableau doit donner quatre chiffres sensiblement égaux.

§ 105. — 1° Influence d'une erreur dans le calage d'un excentrique.

A. — Distribution Stephenson. — Réglage direct des avances.

Dans ce qui va suivre, nous nous plaçons dans le cas d'une admission de vapeur par les arêtes extérieures du tiroir.

Supposons l'angle de calage pour la marche avant, trop grand.

La courbe normale des excentriques fictifs serait EOH ; la courbe réelle est indiquée en pointillé.

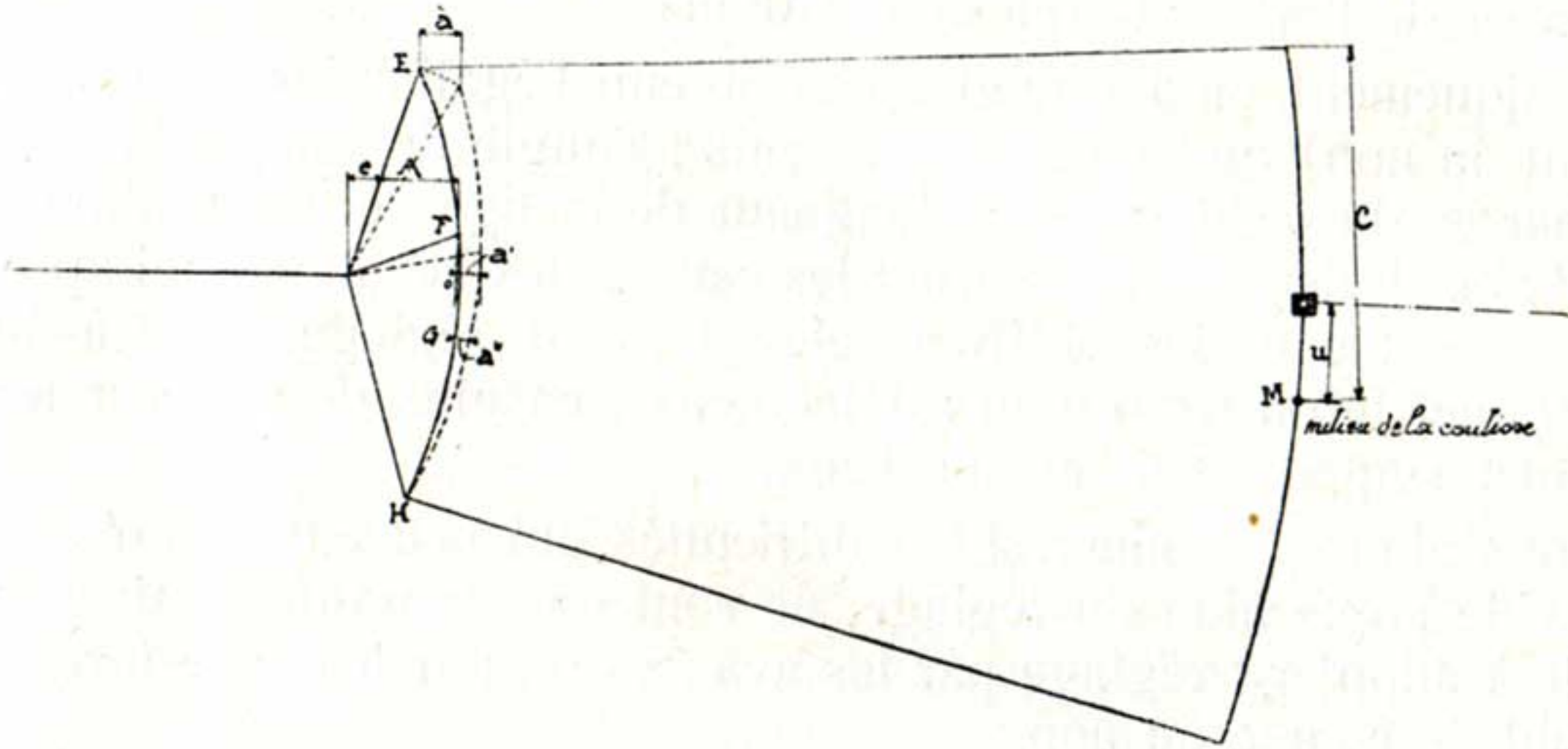
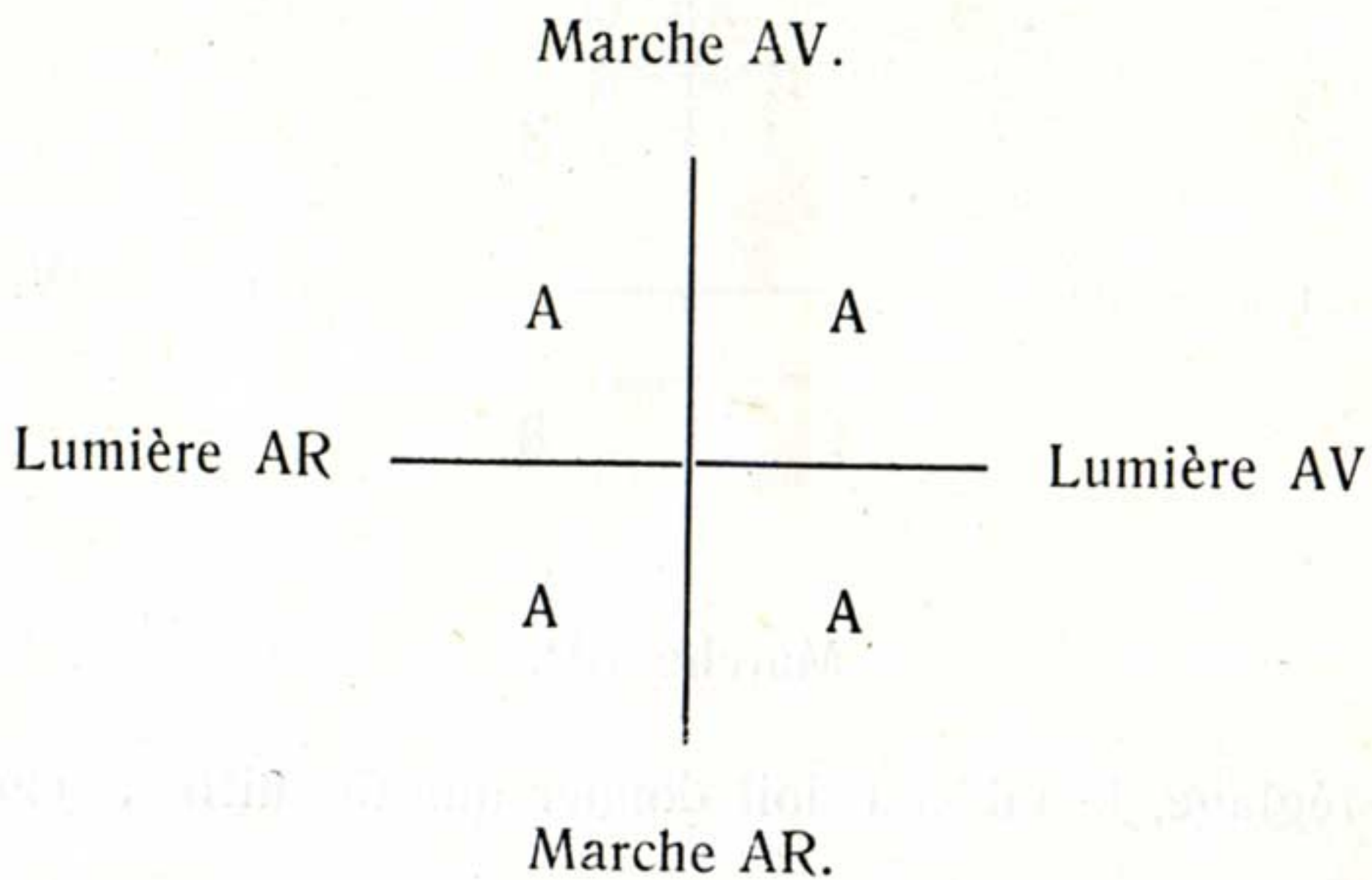
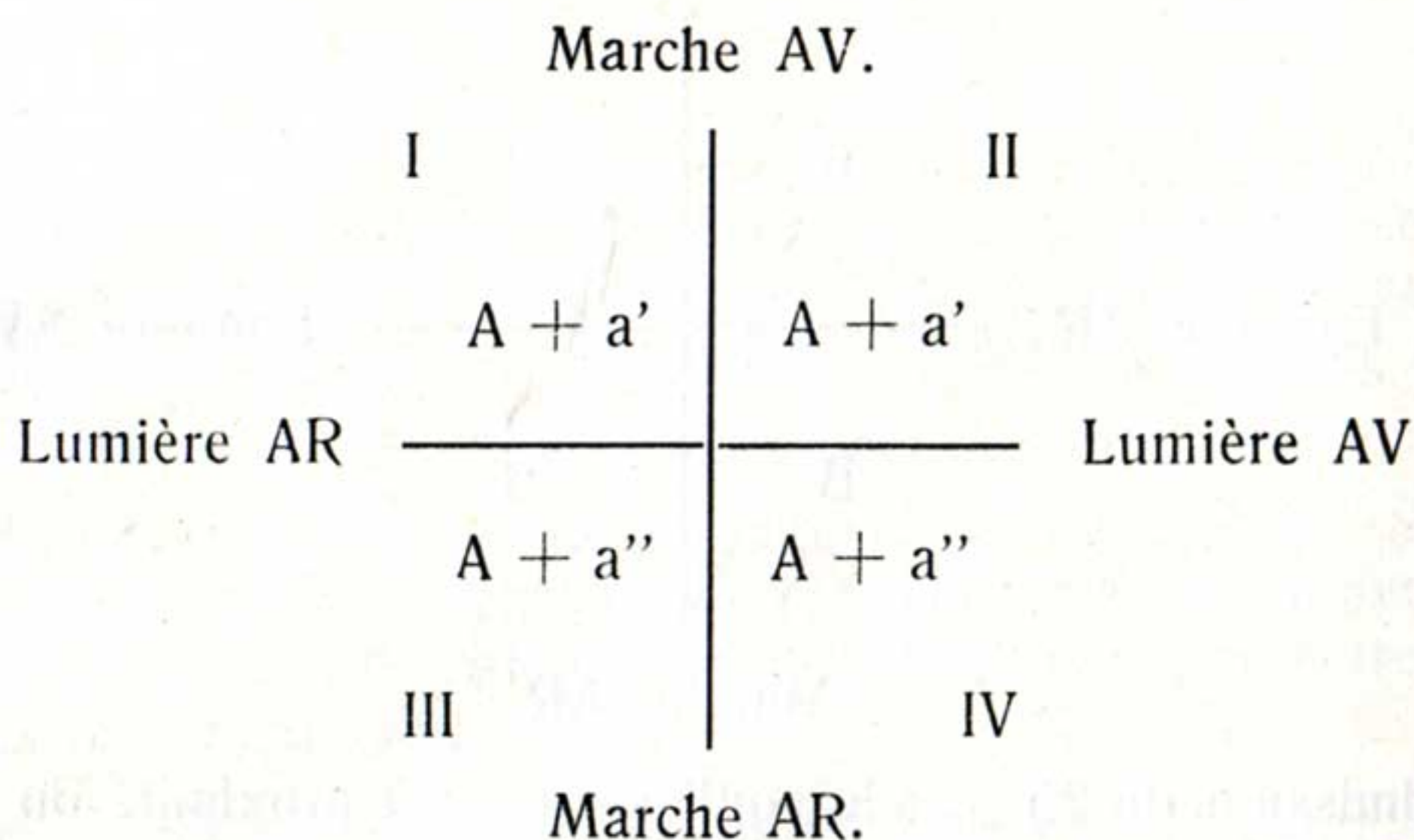


Fig. 119.

Le tableau serait, si les avances étaient égales :



Mais du fait de l'erreur de calage, on obtient :



Pour trouver l'erreur, on doit faire la somme des avances I et II de la marche AV et celle des avances III et IV de la marche AR :

$$I + II = 2A + 2a' \qquad III + IV = 2A + 2a''.$$

La demi différence de ces sommes est égale à $a' - a''$; mais c'est a que nous cherchons, c'est-à-dire l'arc à faire parcourir au bouton d'excentrique pour rectifier le calage.

$$\frac{a'}{a} = \frac{HF}{HE} ; \quad \frac{a''}{a} = \frac{HG}{HE} ; \quad \frac{a' - a''}{a} = \frac{HF - HG}{HE} = \frac{FG}{HE} = \frac{OF}{OE} = \frac{u}{c} ;$$

$$a = (a' - a'') \frac{c}{u}.$$

Il faut donc multiplier la 1/2 différence par le rapport $\frac{c}{u}$ déterminé par la position du coulisseau dans la coulisse.

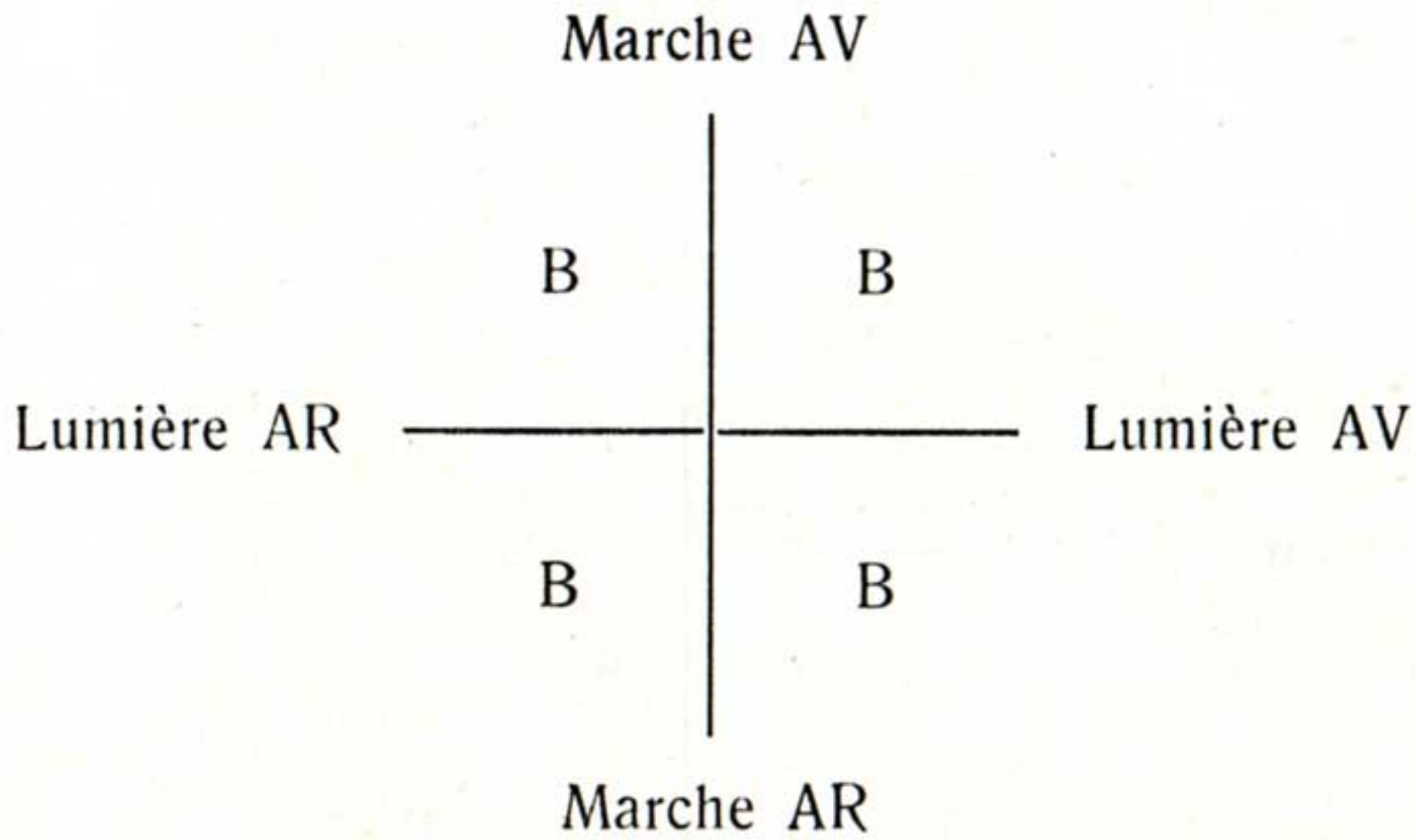
Conclusion : Pour obtenir a avec le maximum de précision, il convient de placer le coulisseau de façon à avoir $(a' - a'')$ le plus grand possible et à devoir le multiplier par le rapport $\frac{c}{u}$ le plus faible ; c'est-à-dire qu'il convient de régler avec le levier à fond de course.

Réglage par les grandes ouvertures.

Ici, c'est la longueur des excentricités qu'il faut considérer :

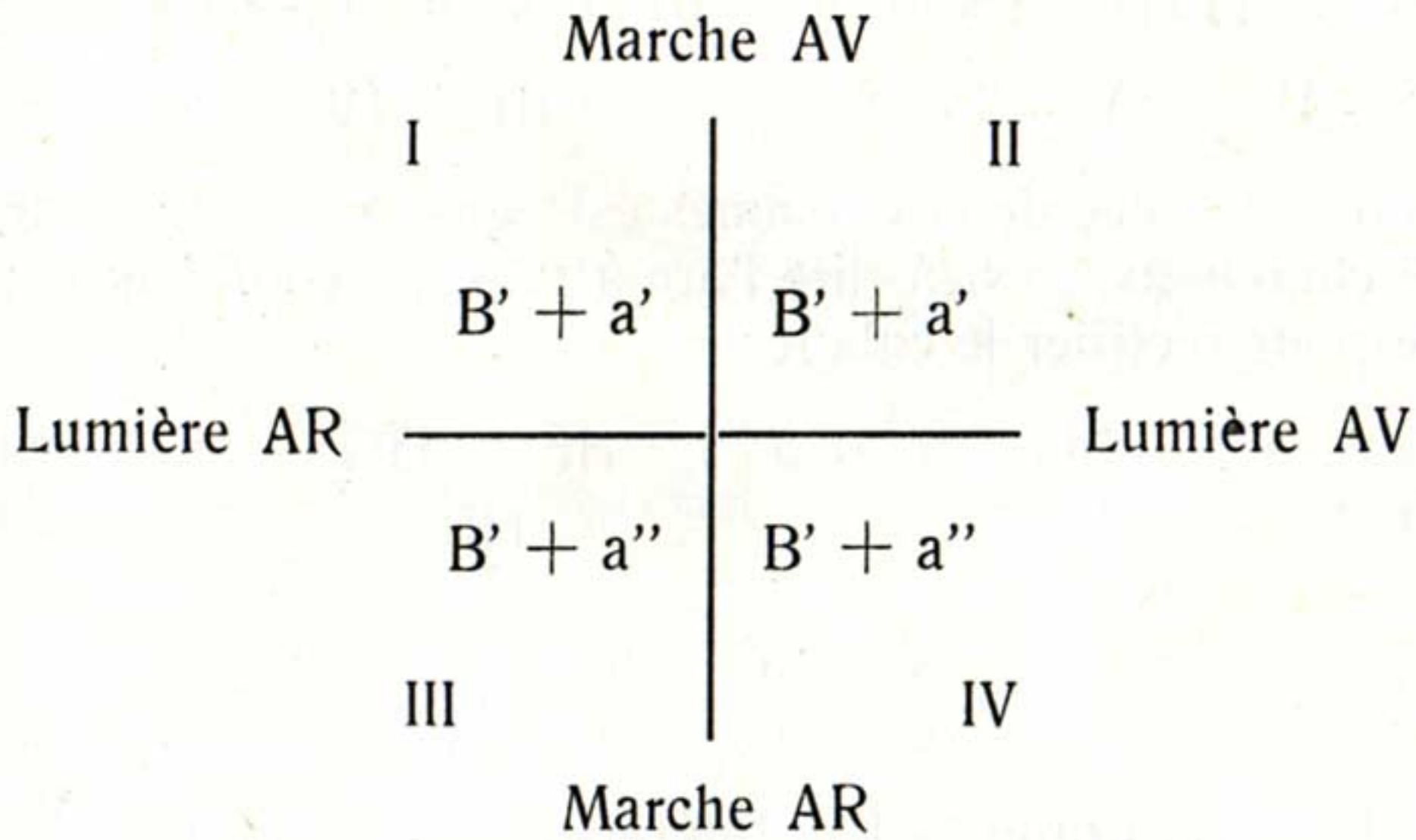
a) levier à fond de course, l'axe du coulisseau étant supposé coïncider avec le point d'attaque de la coulisse par la barre d'excentrique.

L'influence d'un mauvais calage sur les grandes ouvertures est nulle ;



b) admission de 25 % ; le coulisseau est à proximité du centre de la coulisse.

Le tableau devient :



Faisons les sommes des chiffres de chaque marche :

$$I + II = 2B' + 2a'$$

$$III + IV = 2B' + 2a''$$

La demi différence de ces sommes donne donc $a' - a''$.

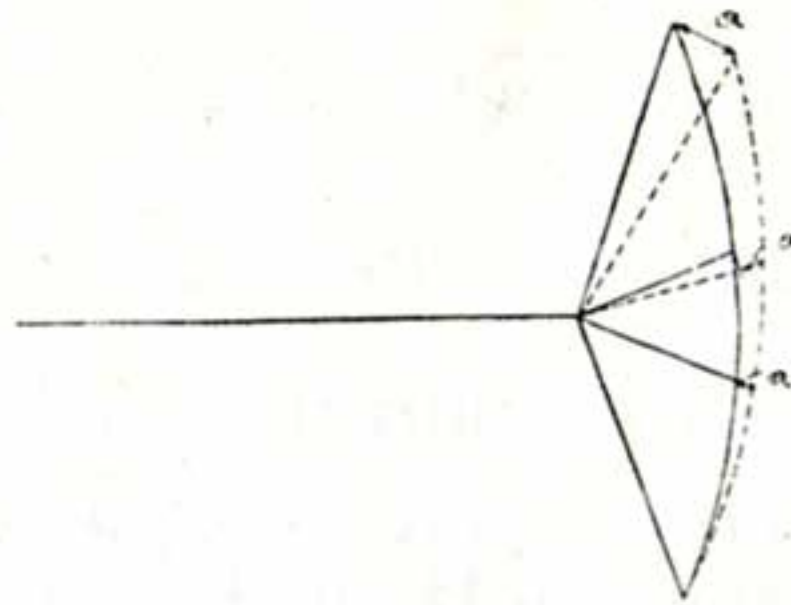


Fig. 120.

L'arc à faire décrire par le bouton d'excentrique serait $a = (a' - a'')$
 $\times \frac{c}{u}$.

Mais a' et a'' ont des valeurs peu différentes ; $(a' - a'')$ est toujours très faible ; tenant compte de la manière dont ces chiffres sont relevés, c'est-à-dire pendant que la locomotive marche, on peut dire qu'il sera difficile, par ce procédé, de déterminer avec un peu de précision une erreur de calage.

Conclusion générale. — Le réglage d'une distribution *Stephenson* doit toujours se faire en relevant *directement* les avances, avec le levier à fond de course. Le réglage par mesurage des ouvertures maxima n'est pas recommandable.

§ 106. — B. — *Distribution Walschaerts.* - *Réglage direct des avances.*

Nous supposons que l'excentrique commande directement la marche AV ; angle de calage trop grand ; admission de vapeur par les arêtes extérieures du tiroir.

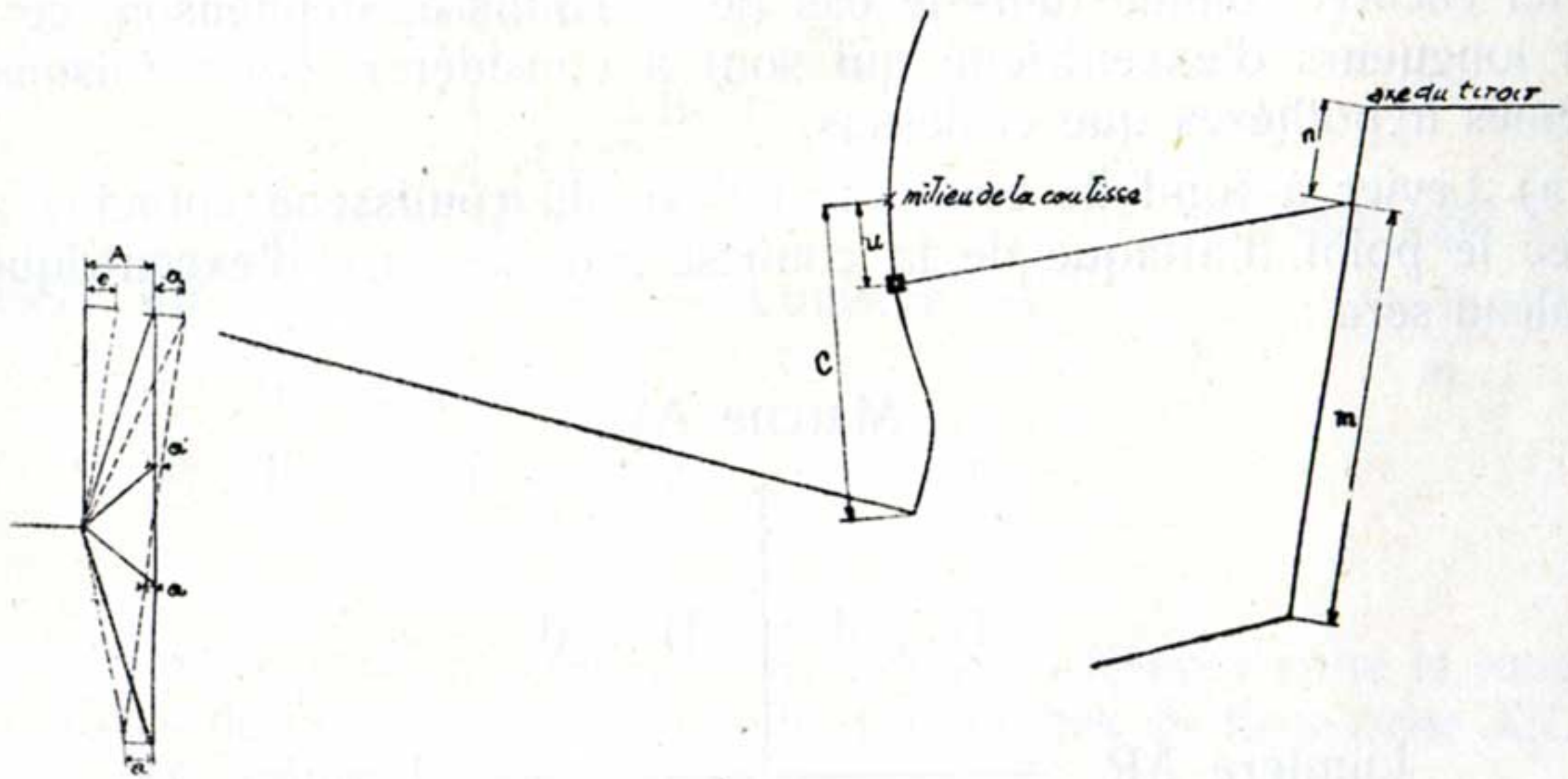


Fig. 121.

On obtient le tableau :

Marche AV		
I	A + a''	II
Lumière AR	A + a''	Lumière AV
III	A - a''	IV
Marche AR		

$a'' = a \times \frac{m + n}{m}$

Procédons comme dans les cas précédents : $I + II = 2A + 2a''$;
 $III + IV = 2A - 2a''$.

Le $1/4$ de la différence de ces sommes donne l'erreur provenant du calage défectueux.

L'arc à faire décrire au bouton d'excentrique lors de la correction de l'erreur est :

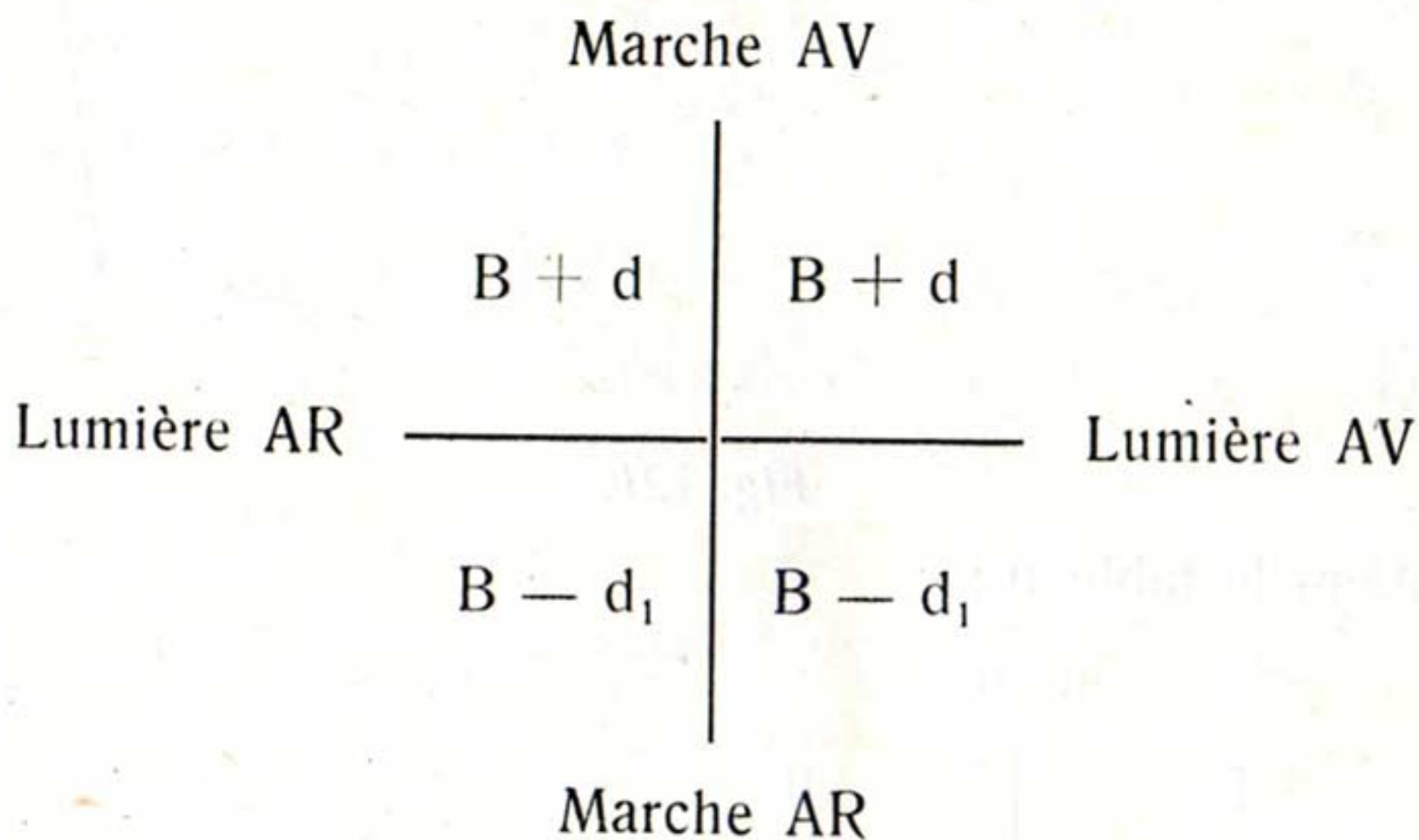
$$a = a' \times \frac{c}{u} = a'' \times \frac{c}{u} \times \frac{m}{m + n}$$

Conclusion : On peut donc régler par les avances, soit avec le levier à fond de course, soit dans une position intermédiaire ; pour le maximum de précision, il est préférable de régler avec le levier à fond de course ; c'est alors que a'' est le plus grand et que le rapport multiplicateur $\frac{c}{u}$ est le plus faible.

Réglage par les grandes ouvertures.

Ici encore, comme dans le cas de la coulisse Stephenson, ce sont les longueurs d'excentricité qui sont à considérer. Nous faisons les mêmes hypothèses que ci-dessus.

a) Levier à fond de course ; si l'axe du coulisseau coïncide alors avec le point d'attaque de la coulisse par la barre d'excentrique, le tableau sera :



d_1 étant approximativement égal à d , on pourrait en tirer la valeur de d ; mais ce chiffre ne donnerait pas la longueur d'arc a à faire décrire au bouton d'excentrique pour la correction de l'erreur, afin de réaliser l'égalité des ouvertures maxima ; par ailleurs, on sait que l'on ne doit pas rechercher cette égalité, car elle ne correspond pas à l'égalité des avances.

b) Admission de 25 % ; le coulisseau est à proximité de l'axe d'oscillation.

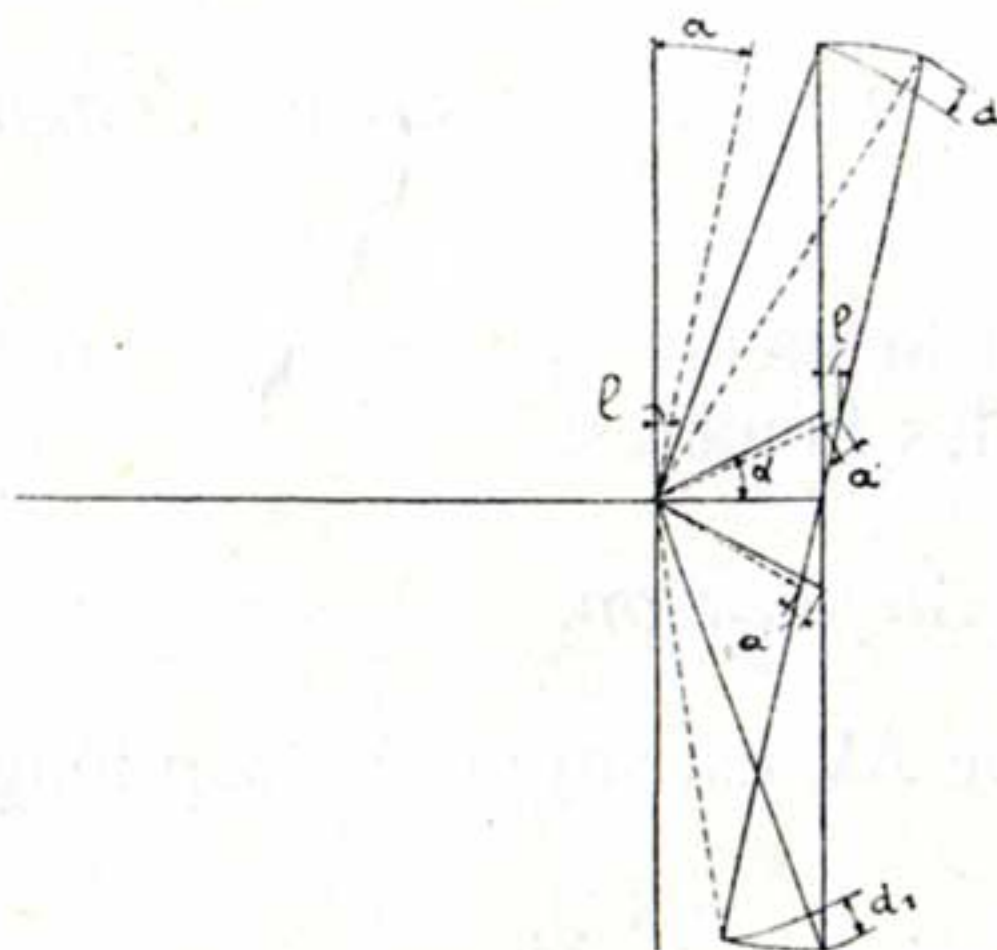


Fig. 122.

Le tableau est alors :

	Marche AV		
	I		II
Lumière AR	B' + a''		B' + a''
	B' - a''		B' - a''
	III		IV
	Marche AR		

Lumière AV

a'' étant égal à

$$a' \times \frac{m + n}{m}$$

On obtient donc a'' en prenant le 1/4 de la différence entre la somme des chiffres de la marche AV et celle des chiffres de la marche AR.

Or, quand on règle à 25 % d'admission, l'angle α est très faible et on peut poser $a' = l = a \times \frac{u}{c}$; on en tire la valeur de l'arc a qu'on doit, lors de la correction, faire décrire au bouton d'excentrique ; $a = a' \times \frac{c}{u} = a'' \times \frac{c}{u} \times \frac{m}{m + n}$.

Par cette rotation du bouton, on obtiendra l'égalité des ouvertures maxima pour l'admission à 25 % et en même temps, avons-nous vu, l'égalité des avances.

Conclusion générale. — Le réglage d'une distribution *Walschaeris* peut se faire, soit par le réglage direct des avances, le levier étant de préférence, poussé à fond de course ; soit, beaucoup plus simplement

et beaucoup plus rapidement (on évite la recherche des points morts) par l'égalisation des ouvertures maxima des lumières pour une admission de vapeur de 25 %.

§ 107. — 2°) *Influence d'une mauvaise longueur de barre d'excentrique.*

Cette influence est la même, qu'on règle par les avances ou par les ouvertures maxima des lumières.

A. — *Distribution Stephenson.*

La barre de marche AV est supposée trop longue.

Tableau obtenu :

	Marche AV		
	I		II
	$A + b'$		$A - b'$
Lumière AR			
	$A + b''$		$A - b''$
	III		IV
	Marche AR		

On fait les sommes des chiffres suivant les diagonales.

$$I + IV = 2A + b' - b'' ; \quad II + III = 2A - b' + b''.$$

La demi-différence de ces sommes est égale à $b' - b''$.

L'erreur dans la longueur de la barre est $b = (b' - b'') \times \frac{c}{u}$

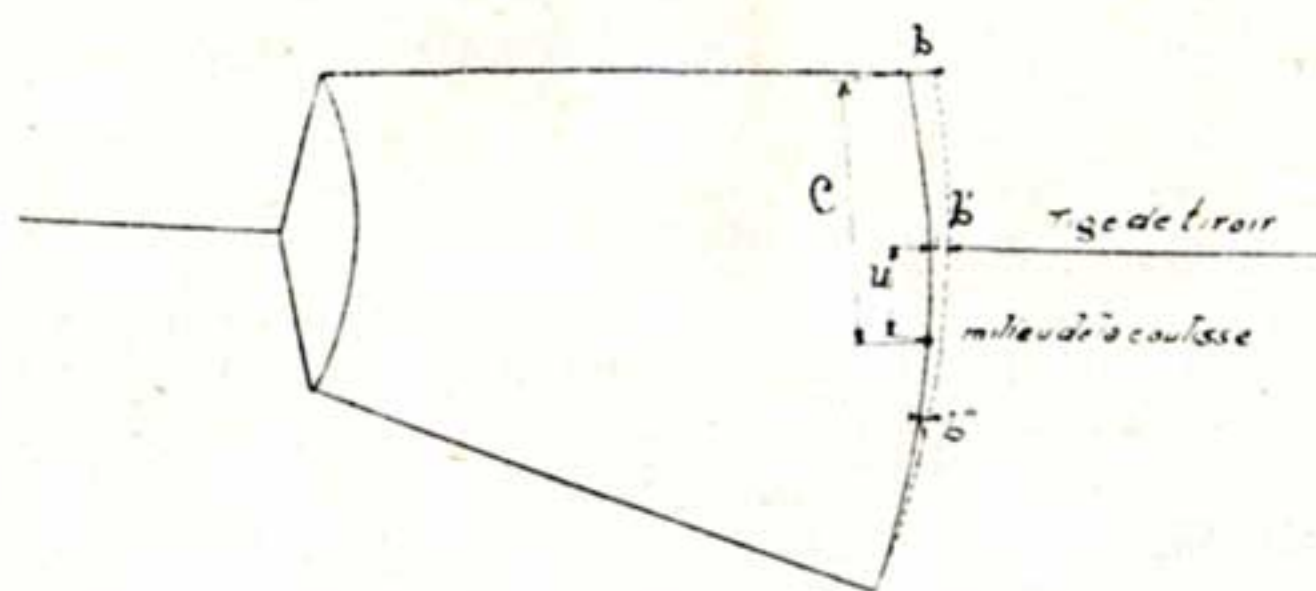


Fig. 123.

B. — *Coulisse « Walschaerts ».*

La figure 124 suppose la barre trop longue.

Tableau obtenu :

	Marche AV		
	I	II	
	$A + b''$	$A - b''$	
Lumière AR	$A - b''$	$A + b''$	Lumière AV
	III	IV	
	Marche AR		

$$b'' = b' \times \frac{m + n}{m}$$

La sommation suivant les diagonales donne : $I + IV = 2A + 2b''$;
 $II + III = 2A - 2b''$.

Le 1/4 de la différence de ces sommes donne : b'' .

L'erreur de la barre est $b = b' \times \frac{c}{u} = b'' \times \frac{c}{u} \times \frac{m}{m + n}$

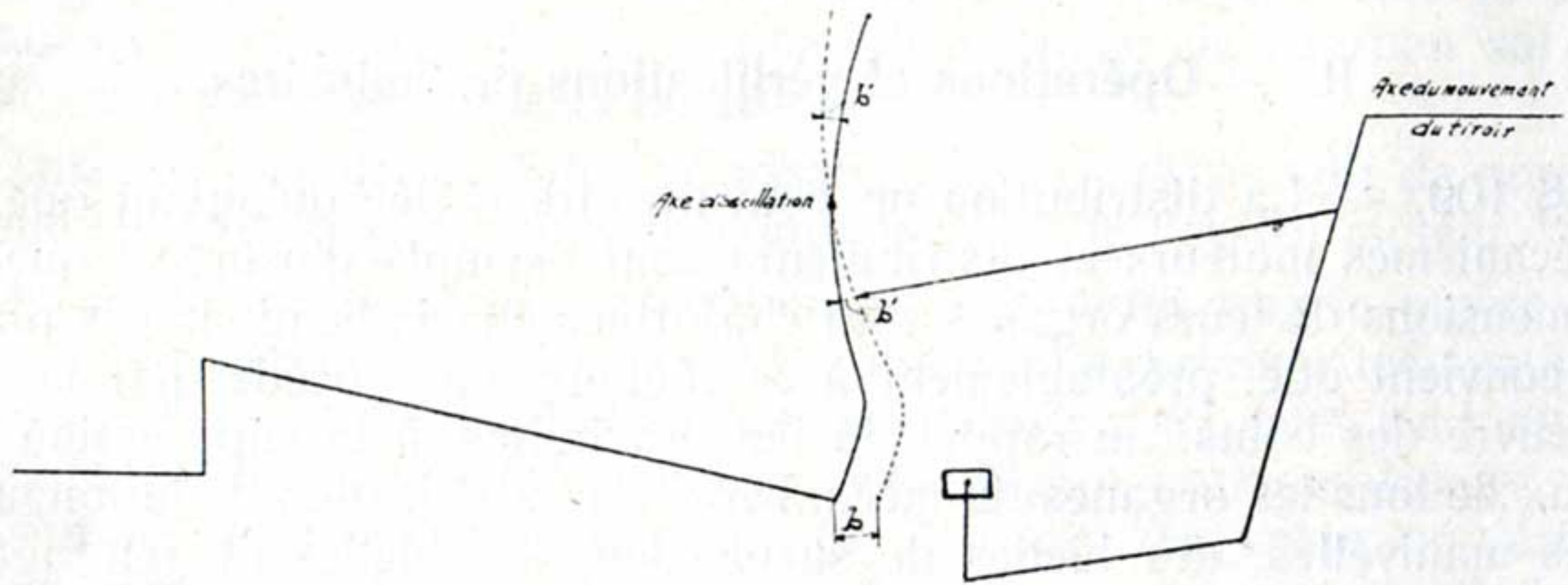


Fig. 124.

Conclusion : Dans les deux coulisses, il y a intérêt, pour déterminer avec précision les erreurs dans les longueurs de barres, à obtenir le rapport $\frac{c}{u}$ le plus faible, c'est-à-dire à régler avec le levier à fond de course ; toutefois, dans la coulisse Walschaerts, spécialement, la détermination de l'erreur peut se faire avec suffisamment d'exactitude avec le levier dans une position intermédiaire.

§ 108. — 3°) *Influence d'une mauvaise longueur de tige du tiroir.*

Cette influence est indépendante du type de coulisse et du mode de réglage. Le tableau obtenu est le suivant :

I		II
$A + c$		$A - c$
$A + c$		$A - c$
III		IV

On fait la somme des chiffres d'une même lumière :

$$I + III = 2A + 2c ; \quad II + IV = 2A - 2c.$$

Le $\frac{1}{4}$ de la différence de ces sommes donne l'erreur c dans la longueur de tige de tiroir.

L'examen de l'influence des erreurs de longueur, soit des barres d'excentrique, soit de la tige de tiroir, n'infirme donc en rien les conclusions auxquelles nous sommes arrivés lors de l'examen des effets d'un mauvais calage.

II. — Opérations et vérifications préliminaires.

§ 109. — La distribution ne pouvant être réglée qu'autant que les mécanismes moteurs et distributeurs sont exempts d'usure et que les dimensions de leurs organes sont conformes aux indications des plans, il convient que, préalablement à ce réglage, on procède, par la manœuvre des coins, au rappel du jeu des boîtes, à la suppression des jeux de tous les organes du mécanisme, à la vérification de la longueur des manivelles, des bielles de suspension, des bielles de relevage et des leviers de l'arbre de relevage.

Toutefois, ces vérifications ne sont généralement faites qu'à la construction ou dans les grands ateliers lorsque certains organes ont été remplacés.

En principe, les ateliers de ligne des chemins de fer n'ont à vérifier et à rectifier, préalablement au réglage, que :

1°) les dimensions des tiroirs et de leurs tables, organes qu'ils sont appelés à réparer ou à remplacer.

2°) les conditions de montage du châssis par rapport aux roues.

a) *Vérification des tiroirs et des tables d'orifices.*

On vérifie que les cotes de ces organes sont conformes au plan. On se sert avantageusement de calibres préparés.

Si les cotes des orifices ne sont pas exactement conformes au plan, on pourra néanmoins obtenir une distribution très régulière pourvu que les recouvrements des tiroirs aient les dimensions prescrites.

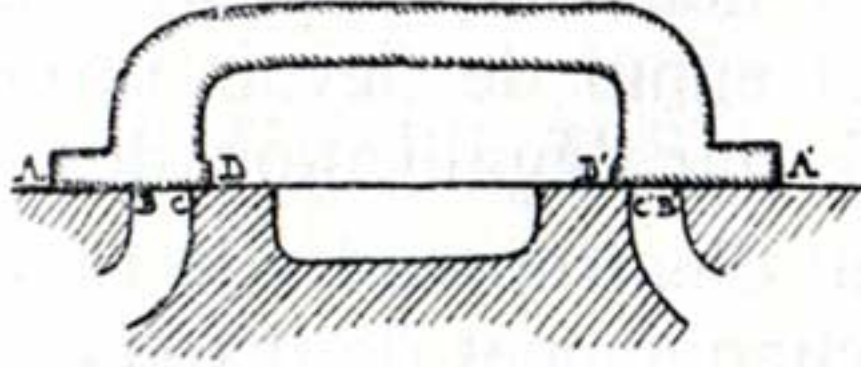


Fig. 125.

Ces recouvrements, qui ont un rôle essentiel dans la distribution, doivent avoir exactement les dimensions prévues. Il faut donc que :

- 1°) la longueur totale AA' du tiroir soit égale à $BB' + 2e$.
- 2°) la distance entre les arêtes intérieures $DD' = CC' - 2i$.
- 3°) les bandes $AD = A'D'$, ce qui exige que les ouvertures $BC, B'C'$, des lumières soient égales.

Les dimensions de la lumière d'échappement n'interviennent pas.

b) *Vérifications des conditions de montage du châssis par rapport aux roues.*

On place la machine en ordre de marche (c'est-à-dire avec 10 cm. d'eau sur le ciel du foyer et la quantité normale de charbon sur la grille) sur une voie droite et horizontale.

Dans ces conditions, il est nécessaire que le châssis soit de niveau et que les axes des cylindres rencontrent l'axe de l'essieu moteur .

On vérifie cette dernière condition en s'assurant que le repère de l'axe de l'essieu moteur placé sur les longerons à certaines locomotives se trouve bien au niveau de l'axe de cet essieu ; à cet effet, on mesure la distance de chacun d'eux à une règle placée horizontalement, en travers du rail, près de l'essieu moteur. A défaut de repère, on vérifie simplement que les boîtes ont le même jeu vers le haut et vers le bas.

L'horizontalité du châssis peut être vérifiée en mesurant la distance du dessus des boîtes au fond des entailles du longeron pour les boîtes d'essieux accouplés.

La suspension sera réglée de manière à réaliser ces deux conditions ; on interpose parfois, entre les longerons et les dessus des boîtes des cales d'épaisseur convenable, de manière que, pendant qu'on déplacera la machine pour la régler, la position du châssis par rapport aux roues ne varie pas. Cette précaution ne semble guère se justifier si la voie est bonne, la vitesse de circulation étant toujours très faible.

Comme, malgré tous les soins apportés dans la préparation de la machine, il reste toujours un certain jeu dans les articulations, il convient de toujours faire tourner la locomotive dans le sens indiqué par le levier de changement de marche. De cette façon les pièces du mécanisme se disposent de manière à répartir le jeu des articulations comme pendant la marche. Si, par suite d'une fausse manœuvre, la position du point mort, par exemple, était dépassée, il faudrait revenir en arrière pour avancer de nouveau, de façon que cette position soit obtenue directement. Cet ennui de devoir revenir en arrière est évité quand on fait le réglage par l'égalisation des ouvertures maxima.

Il est aussi utile, avant d'entreprendre le réglage proprement dit, de manœuvrer le levier de changement de marche et de s'assurer :

1°) que lorsqu'il est placé au point mort, le coulisseau se trouve au centre de la coulisse.

2°) que lorsqu'il est placé à fond de course dans les deux sens, le coulisseau s'écarte de la même quantité de part et d'autre du centre de la coulisse.

Si tel n'était pas le cas, cela signifierait que la longueur des tringles ou le calage des leviers de l'arbre de relevage sont à modifier.

Remarque. — Lors du réglage de la distribution, sur une locomotive froide, il faut prévoir l'échauffement qui a lieu quand la machine est en service ; il se produit alors un allongement (déplacement du tiroir vers l'avant) de 1 à 2 m/m, selon la longueur de la tige et la température de la vapeur dans la chapelle.

III. — Réglage d'une distribution Stephenson.

(et, en général, d'une distribution à deux excentriques.)

§ 110. — Nous avons vu que ce réglage se fait par l'égalisation des avances, le levier de changement de marche étant placé à fond de course.

Supposons que l'admission se fait par les arêtes extérieures du tiroir.

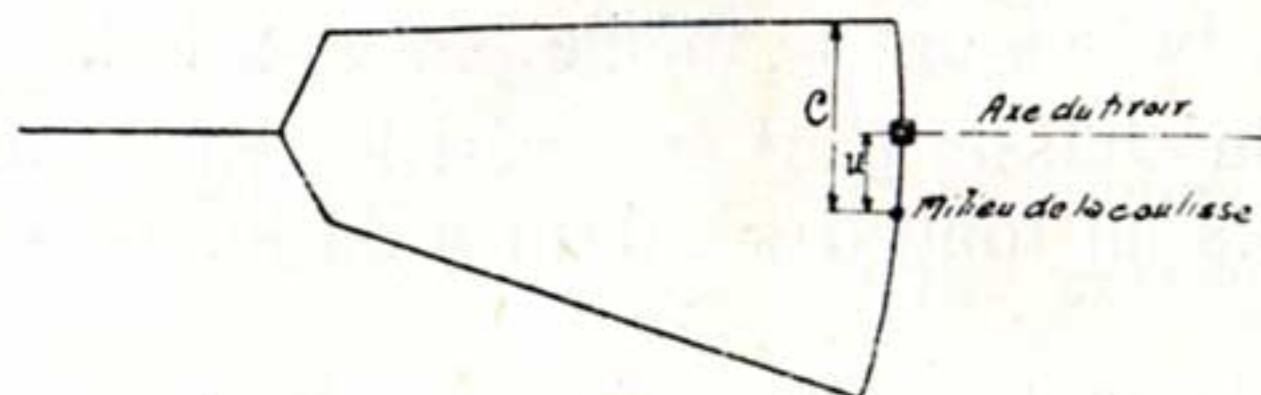
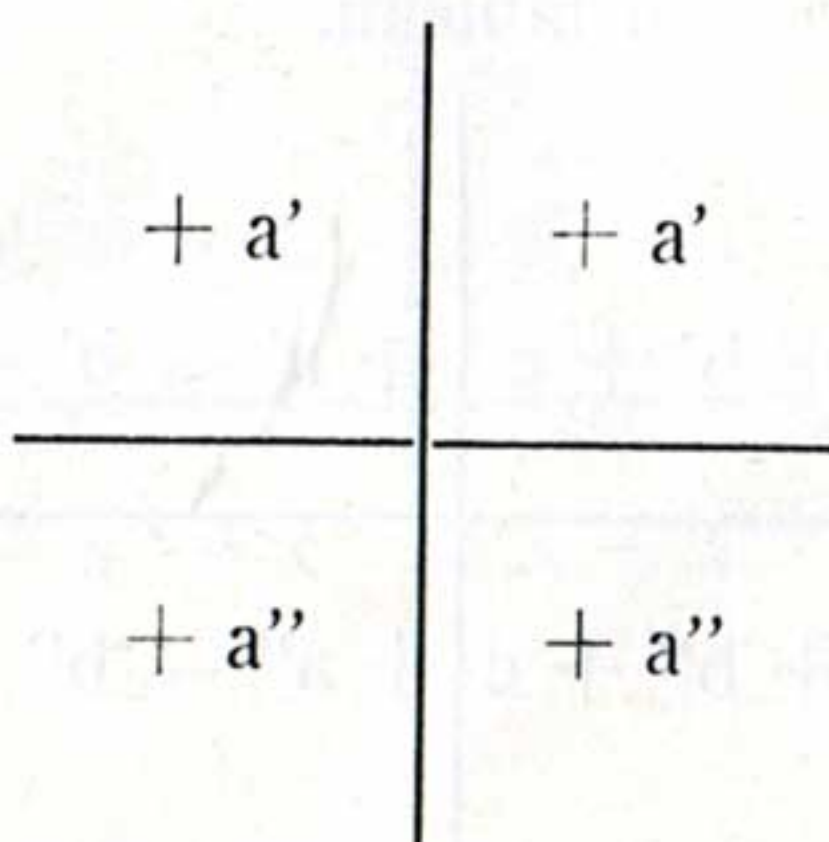


Fig. 126.

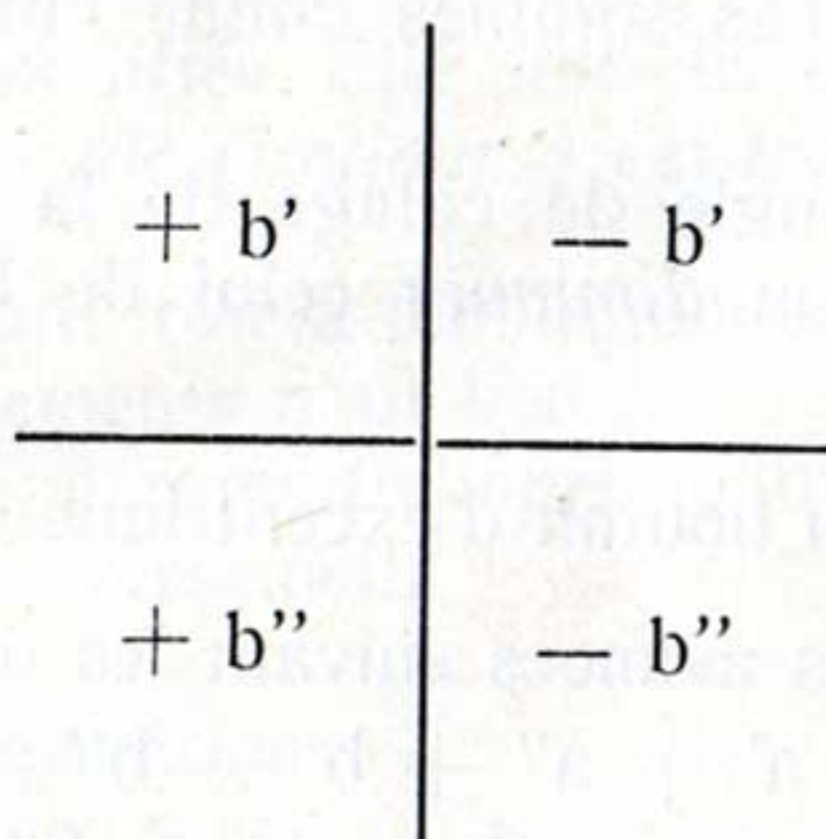
1^{re} Hypothèse. Calage de l'une des poulies inexact (calage de l'excentrique AR trop grand par exemple). Barres et tige de tiroir bonnes longueurs.

Influence sur les chiffres du tableau :



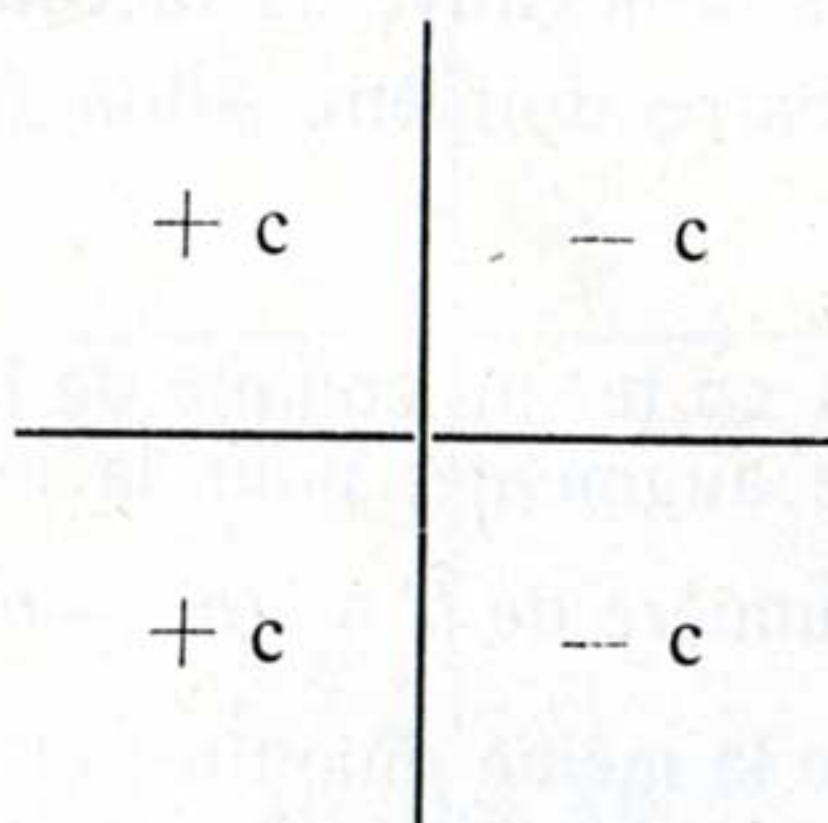
2^e Hypothèse. Barres d'excentrique de longueurs différentes (AV trop longue par exemple). Calages exacts. Tige à bonne longueur.

Influence :



3^e Hypothèse. Tige de tiroir trop longue (par exemple). Calages exacts. Barres à bonne longueur.

Influence :



4^e Hypothèse. Coexistence des trois erreurs.

Influence sur les chiffres du tableau.

I		II
$+ a' + b' + c$		$+ a' - b' - c$
$+ a'' + b'' + c$		$+ a'' - b'' - c$
III		IV

Recherche et correction des erreurs.

1) Faire la somme des avances pour chacune des marches :

$$I + II = 2X + 2a' ; \quad III + IV = 2X + 2a''.$$

La 1/2 différence de ces sommes donne l'influence de l'erreur de calage : $a' - a''$.

Il faut *augmenter*, l'angle de calage de la marche qui donne la somme *la plus faible* (ou *diminuer* celui de la marche donnant la somme *la plus forte*).

L'arc à faire décrire au bouton d'excentrique est : $(a' - a'') \frac{c}{u}$.

2) Faire la somme des avances suivant les diagonales du tableau :

$$I + IV = 2X + a' + a'' + b' - b'' ;$$

$$II + III = 2X + a' + a'' - b' + b''.$$

La 1/2 différence de ces sommes donne l'erreur provenant des barres d'excentriques : $b' - b''$.

Ayant choisi la barre qu'on va modifier, on verra si, en l'allongeant, on diminuera la différence entre les deux sommes ; dans l'affirmative, on devra l'allonger ; dans la négative, la raccourcir.

La quantité dont la barre doit être allongée ou raccourcie est :

$$(b' - b'') \frac{c}{u}.$$

3) *Modifier le tableau* en tenant compte de la rectification des barres : une barre allongée augmente, pour la marche commandée par celle-ci, l'avance de la lumière de $b' = (b' - b'') \frac{c + u}{2u}$, et diminue celle de la lumière AV de la même quantité ; elle augmente, pour l'autre marche, l'avance de la lumière AR de $b'' = (b' - b'') \frac{c - u}{2u}$, et diminue d'autant celle de la lumière AV.

Le tableau devient, si on diminue la barre de marche AV :

I		II
$X + a' + c$		$X + a' - c$
$X + a'' + c$		$X + a'' - c$
III		IV

Faire alors la somme des avances pour chaque lumière :

$$I + III = 2X + a' + a'' + 2c ;$$

$$II + IV = 2X + a' + a'' - 2c.$$

Le 1/4 de la différence de ces sommes donne la longueur c dont la tige de tiroir doit être modifiée. Elle doit être *allongée* si la somme des avances pour la lumière *AR* (toujours) est *trop faible*.

Remarque. — Avec un tiroir à admission *intérieure* (à moins que la transmission des mouvements n'ait lieu par *rocking-shaft*), ces règles doivent être inversées : il faut *diminuer* là où les règles précédentes disent *d'augmenter*, et inversement.

§ 111. — Exemple numérique.

On obtient, par exemple, lors du relevé des avances (admission par les arêtes extérieures du tiroir).

	Marche AV		
	3		9
Lumière AR			
	4		6
	Marche AR		

$$1) I + II = 12 ; \quad III + IV = 10.$$

Influence de l'erreur de calage : $\frac{12 - 10}{2} = 1 \text{ m/m}$.

La somme *la plus faible* correspond à la marche AR. On augmentera l'angle de calage AR de façon à faire décrire au bouton d'excentrique un arc de $1 \times \frac{260}{150} = 1 \text{ m/m}, 7$.

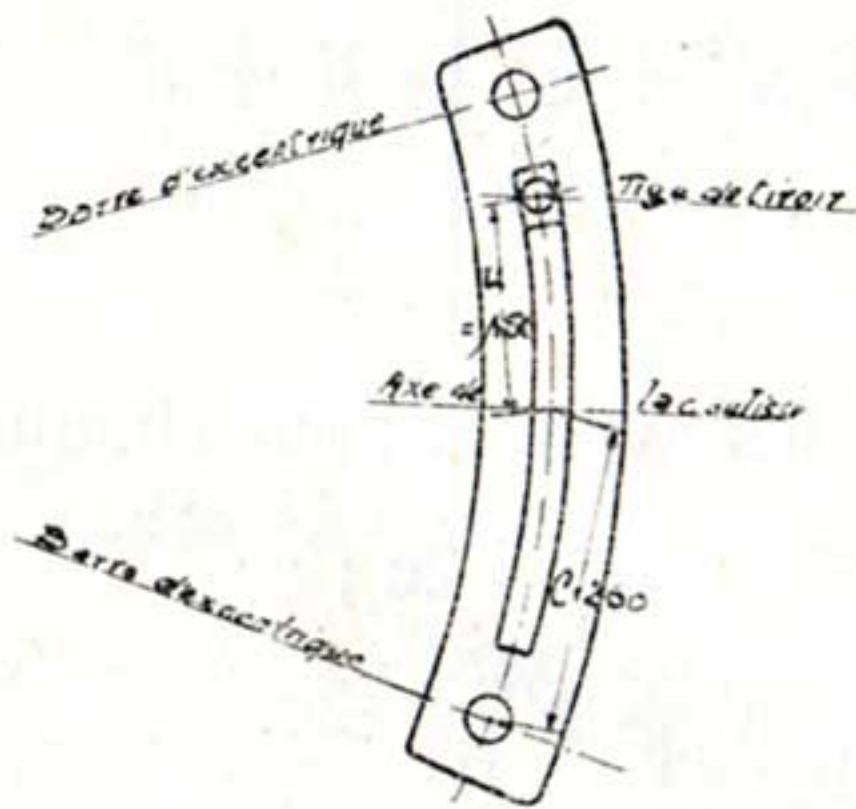


Fig. 127.

2) $I + IV = 9$; $II + III = 13$; $\frac{13 - 9}{2} = 2 \text{ m/m}$ est l'influence de la longueur erronée des barres d'excentrique. On décide, par exemple de modifier la barre de marche AV. Si on l'allonge I augmentera, II diminuera et la différence entre les deux sommes s'affaiblira; on allongera donc la barre AV, et cela, de la quantité : $2 \times \frac{260}{150} = 3 \text{ m/m}, 4$.

3) La modification de barre étant supposée effectuée, I sera augmenté de $b' = (b' - b'') \frac{c + u}{2u} = 2 \times \frac{410}{300} = 2 \text{ m/m}, 7$ et II diminué d'autant; III sera augmenté de $b'' = (b' - b'') \frac{c - u}{2u} = 2 \times \frac{110}{300} = 0 \text{ m/m}, 7$ et IV diminué d'autant. Le tableau devient :

	Marche AV		
	I		II
	3 + 2,7		9 - 2,7
Lumière AV			
	4 + 0,7		6 - 0,7
	III		IV
	Marche AR		
			Lumière AR

$I + III = 10,4$; $II + IV = 11,6$. L'influence de la mauvaise longueur de la tige de tiroir est $\frac{11,6 - 10,4}{4} = 0 \text{ m/m, } 3$. La somme des avances de la lumière AR étant la *plus faible*, il faudra *allonger* la tige de 0 m/m, 3.

On dresse le résumé ci-après des modifications à effectuer.

Augmenter le calage AR (arc de $1 \times \frac{260}{150} = 1 \text{ m/m, } 7$.)

Allonger la barre AV de $2 \times \frac{260}{150} = 3,4$.

Allonger la tige de tiroir de 0 m/m, 3.

On peut parfois combiner d'autres modifications de façon, tout en obtenant le même résultat, à diminuer la main d'œuvre. Ainsi, on pourrait éviter d'allonger la tige de tiroir, si on trouvait des valeurs égales pour $(b' - b)$ et c , une barre devant être allongée et la tige raccourcie ou inversement.

Supposons, en effet, qu'on arrive à conclure qu'il faille raccourcir une barre de $1 \text{ m/m} \times \frac{c}{u}$ et allonger la tige de 1 m/m ; il sera plus simple d'allonger simplement la seconde barre de $1 \text{ m/m} \times \frac{c}{u}$ sans toucher à la première barre ni à la tige.

On pourra aussi, si on possède les plans, s'efforcer de se rapprocher des cotes prévues.

Remarque. — Souvent la tige de tiroir est munie d'un dispositif de réglage ; la correction est alors facile ; sinon, dans le cas où les barres ne font pas corps avec les colliers, il faut allonger les deux barres par interposition d'intercalaires ; si les barres font corps avec les colliers, il faut modifier les longueurs à la forge.

IV. — Réglage d'une distribution Walschaerts.

§ 112. — On a vu que ce réglage se fait par l'égalisation des ouvertures maxima des lumières, le levier étant placé à 25 % d'admission.

Supposons le cas de l'admission de vapeur par les arêtes extérieures du tiroir.

1) *Excentrique calé en avant de manivelle.*

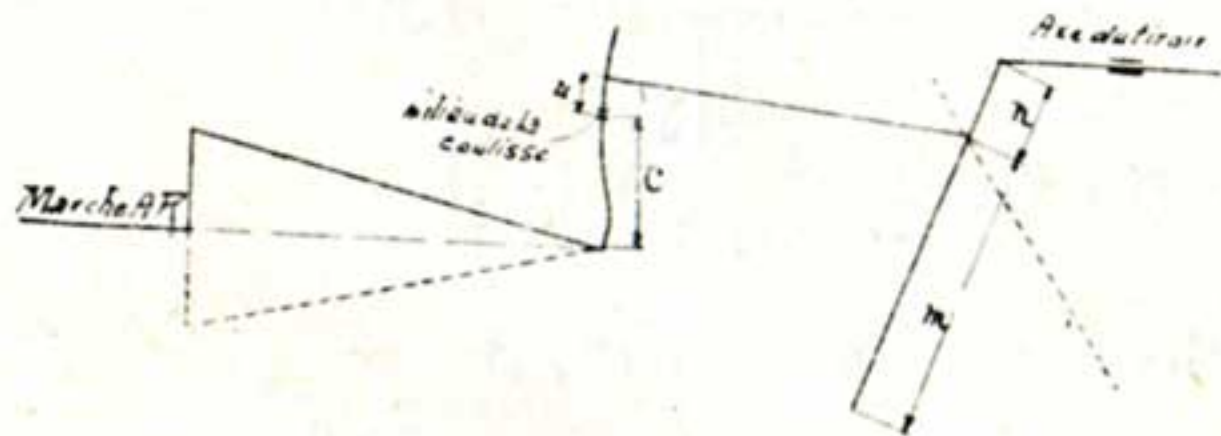
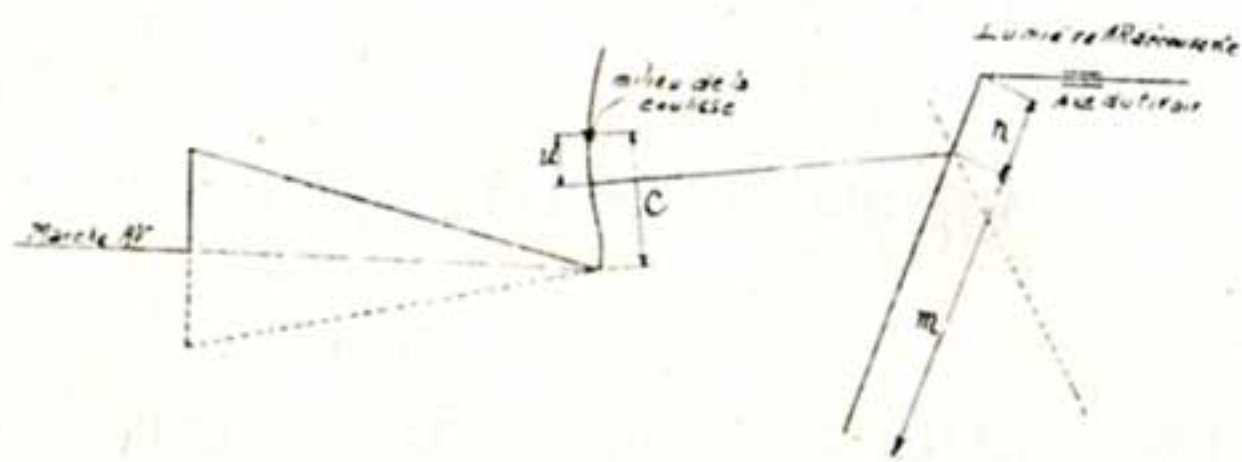


Fig. 128-130.

2) *Excentrique calé en arrière de la manivelle.*

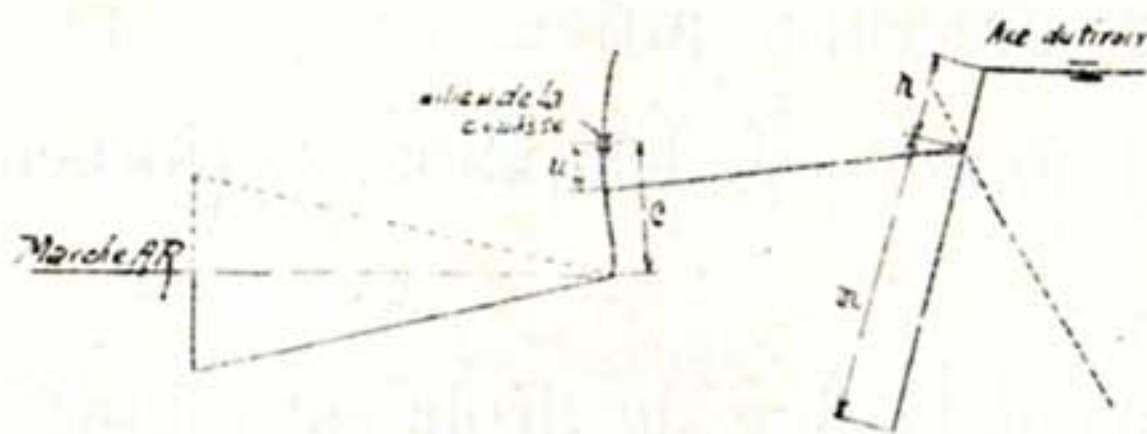
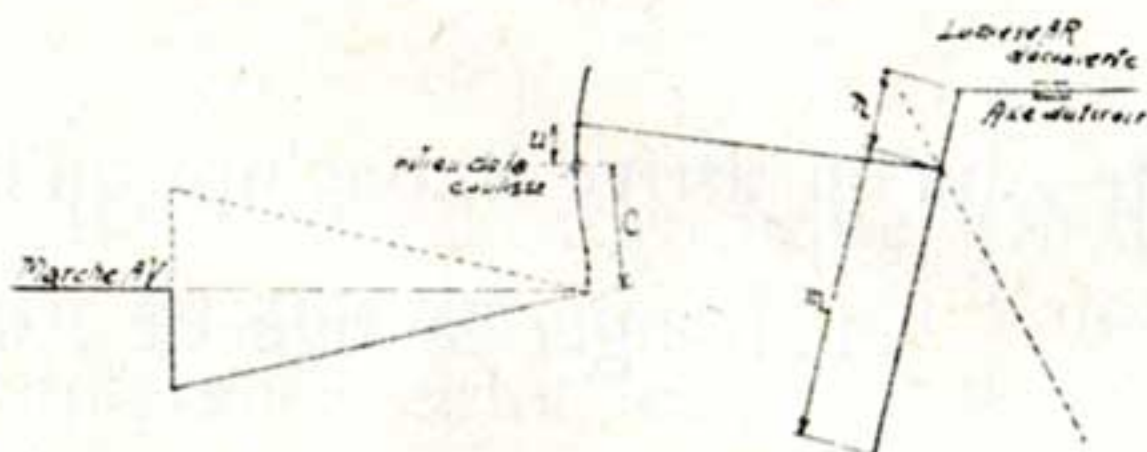


Fig. 129-131.

1°) *Angle de calage trop faible, barre et tige à bonne longueur.*

Influence sur le tableau.

$- a''$	$- a''$	$+ a''$	$+ a''$
$+ a''$	$+ a''$	$- a''$	$- a''$

2°) Barre d'excentrique trop courte (par exemple). Calage exact. Tige à bonne longueur.

$$\begin{array}{c|c} -b'' & +b'' \\ \hline +b'' & -b'' \end{array} \quad \begin{array}{c|c} +b'' & -b'' \\ \hline -b'' & +b'' \end{array}$$

3°) Tige de tiroir trop courte (par exemple). Calage exact. Barre à bonne longueur.

$$\begin{array}{c|c} -c & +c \\ \hline -c & +c \end{array}$$

4°) Coexistence des trois erreurs.

$$\begin{array}{c|c} \text{I} & \text{II} \\ \hline -a'' - b'' - c & -a'' + b'' + c \\ \hline +a'' + b'' - c & +a'' - b'' + c \\ \text{III} & \text{IV} \end{array} \quad \begin{array}{c|c} \text{I} & \text{II} \\ \hline +a'' + b'' - c & +a'' - b'' + c \\ \hline -a'' - b'' - c & -a'' + b'' + c \\ \text{III} & \text{IV} \end{array}$$

Recherche et correction des erreurs.

On procède dans le même ordre que pour la coulisse Stephenson.

1)

$$\begin{array}{c|c} \text{I} + \text{II} = 2X - 2a'' & \text{I} + \text{II} = 2X + 2a'' \\ \text{III} + \text{IV} = 2X + 2a'' & \text{III} + \text{IV} = 2X - 2a'' \end{array}$$

Le quart de la différence de ces sommes donne l'influence de l'erreur de calage.

Il faut considérer la marche commandée *directement* par l'excentrique ; si cette marche donne la somme *la plus faible* ; il y a lieu *d'augmenter* l'angle de calage et inversement.

L'arc à faire décrire au bouton d'excentrique est : $a'' \times \frac{c}{u} \times \frac{m}{m+n}$

2)

$$\begin{array}{l|l} I + IV = 2 X - 2 b'' & I + IV = 2 X + 2 b'' \\ II + III = 2 X + 2 b'' & II + III = 2 X - 2 b'' \end{array}$$

Le quart de la différence de ces sommes est b'' , influence de l'erreur dans la longueur de barre.

Voir si, en allongeant la barre, on diminuera la différence entre les deux sommes ; dans l'affirmative on devra l'allonger ; dans la négative, la raccourcir.

La modification de longueur à apporter à la barre sera : $b'' \times \frac{c}{u} \times \frac{m}{m \times n}$.

3) Il n'est pas nécessaire ici, comme dans la coulisse Stephenson, d'apporter aucune rectification au tableau.

$$\begin{array}{l|l} I + III = 2 X - 2 c & I + III = 2 X - 2 c \\ II + IV = 2 X + 2 c & II + IV = 2 X + 2 c \end{array}$$

Le quart de la différence de ces sommes = c est l'influence de la mauvaise longueur de la tige de tiroir ; c'est la quantité dont celle-ci doit être allongée ou raccourcie.

Elle doit être *allongée* si la somme des chiffres pour la lumière AR (toujours) est *trop faible* ; et inversement.

Remarque. — Dans le cas d'admission de vapeur par les arêtes *intérieures* :

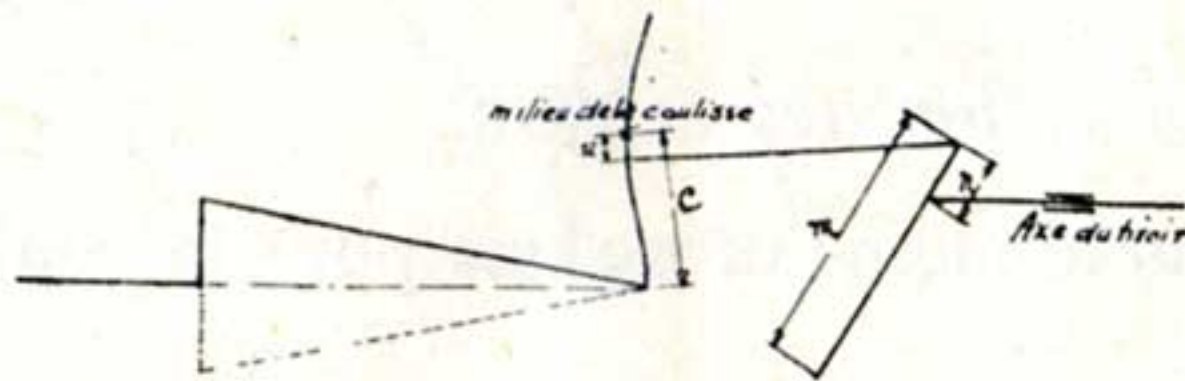


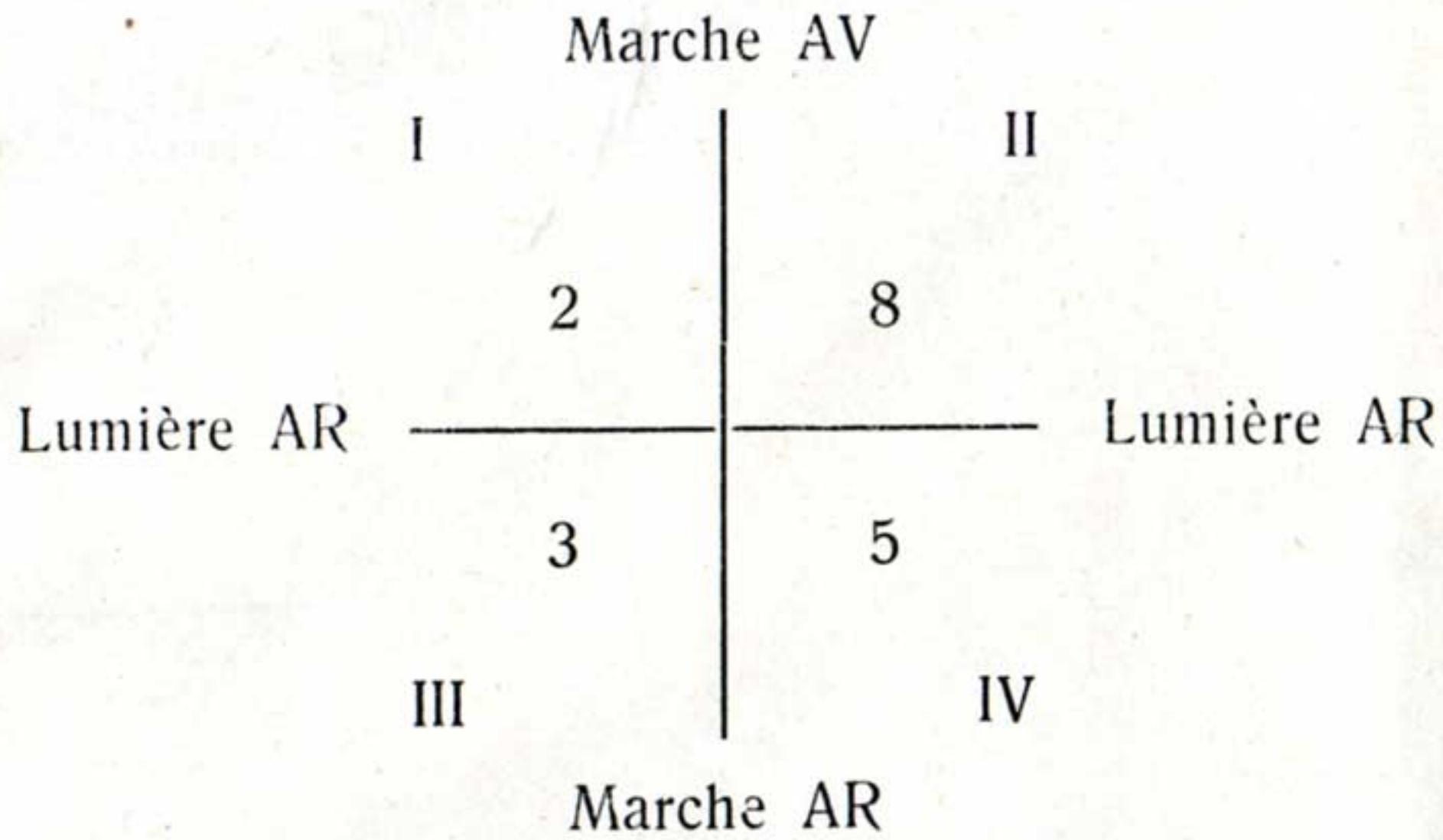
Fig. 132.

1°) Il faut inverser les règles ; là où l'on dit d'allonger, il faut raccourcir et inversement.

2°) Les segments du levier d'avance se présentent différemment ; on doit remplacer dans les formules ci-dessus $(m + n)$ par $(m - n)$, m et n étant toujours mesurés à partir de l'articulation du levier d'avance à la bielle de commande venant de la coulisse.

§ 113. — *Exemple numérique.*

On obtient, lors du relevé des ouvertures (admission par les arêtes intérieures du tiroir) :



1) $I + II = 10$; $III + IV = 8$; $\frac{10 - 8}{4} = 0 \text{ m/m}, 5.$

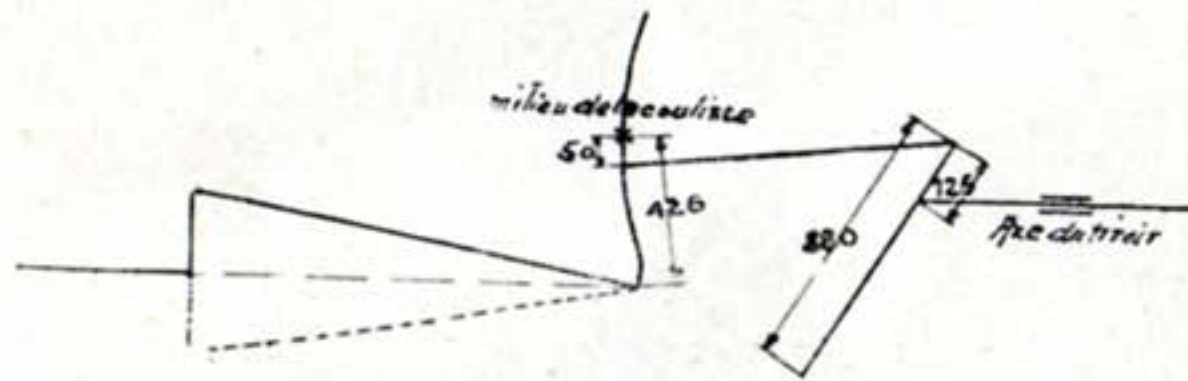


Fig. 133.

Il faut augmenter le calage. Arc à faire décrire au bouton :

$$0,5 \times \frac{425}{50} \times \frac{880}{755} = 5 \text{ m/m.}$$

2) $I + IV = 7$; $II + III = 11$; $\frac{11 - 7}{4} = 1 \text{ m/m.}$

Il y a lieu de raccourcir la barre de : $1 \times \frac{425}{50} \times \frac{880}{755} = 10 \text{ m/m.}$

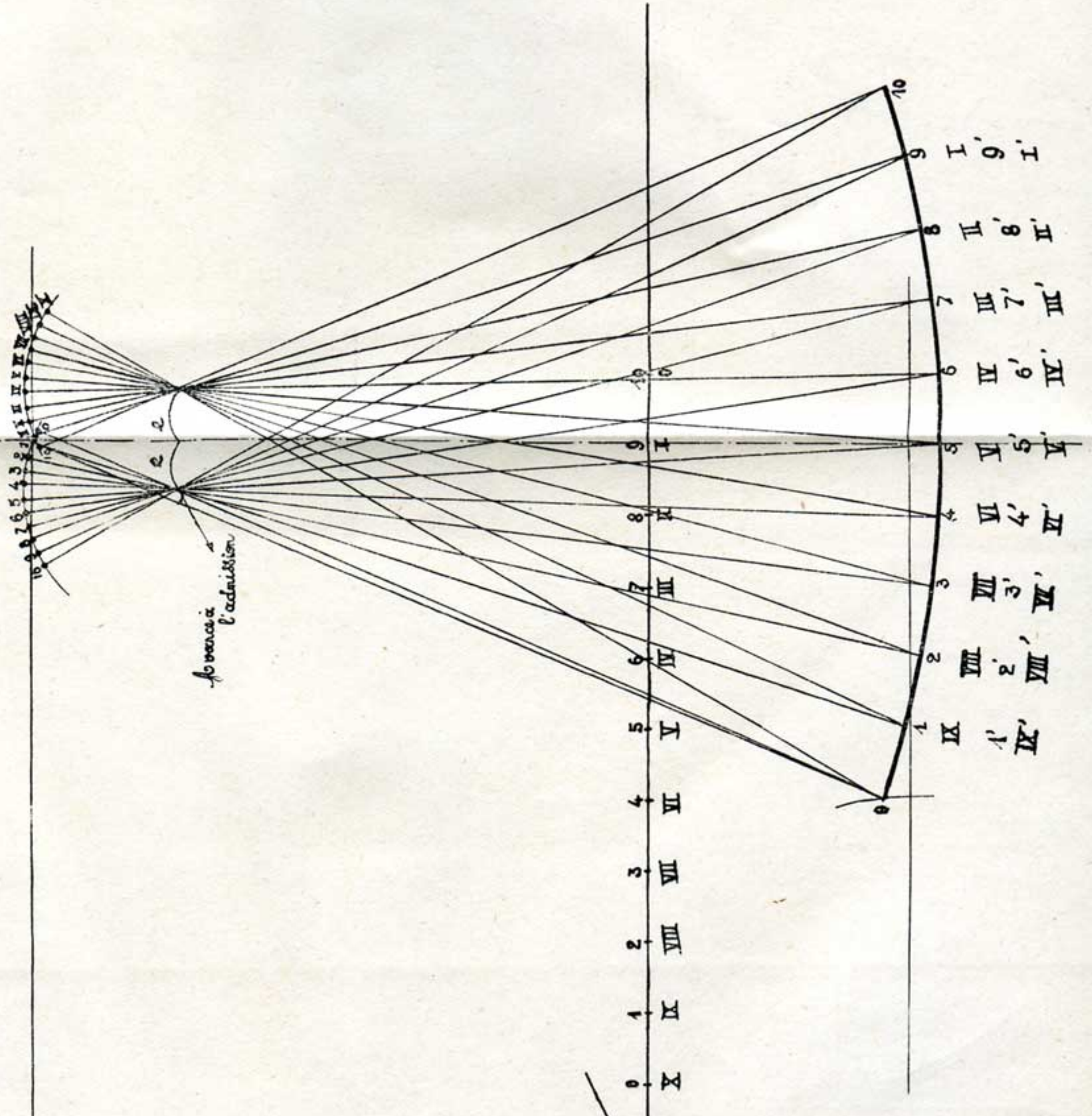
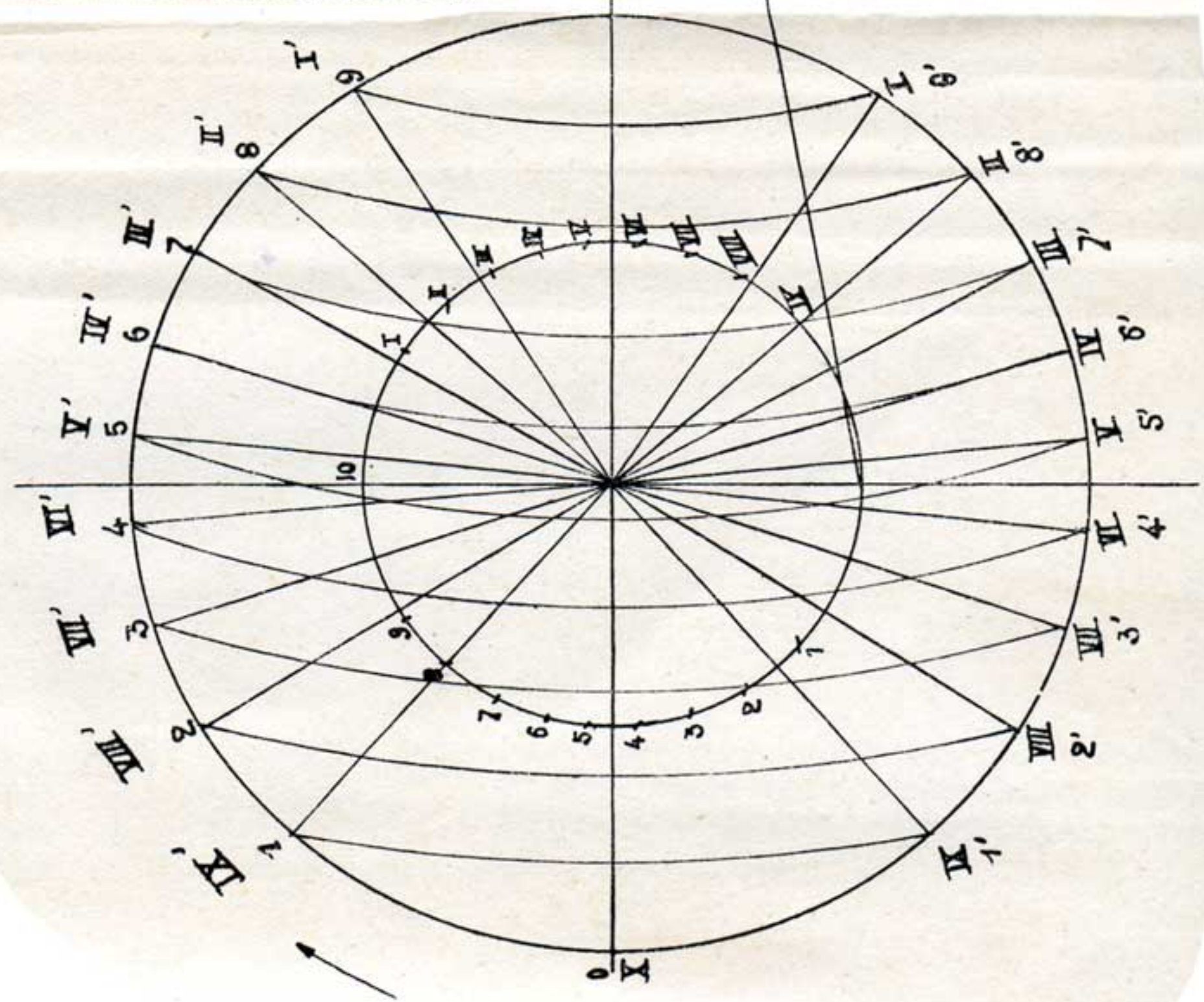
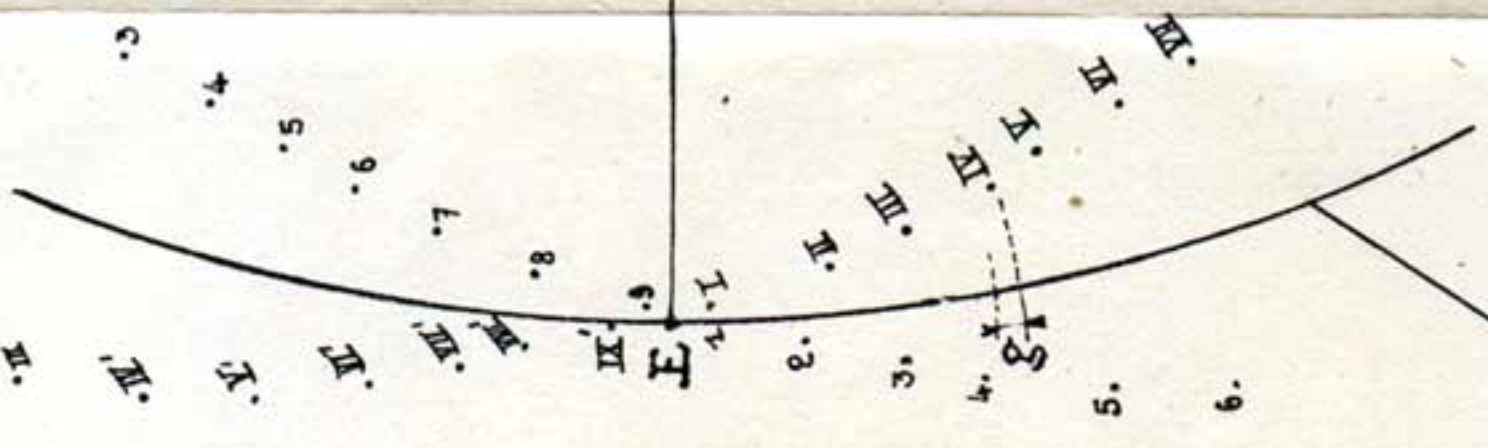
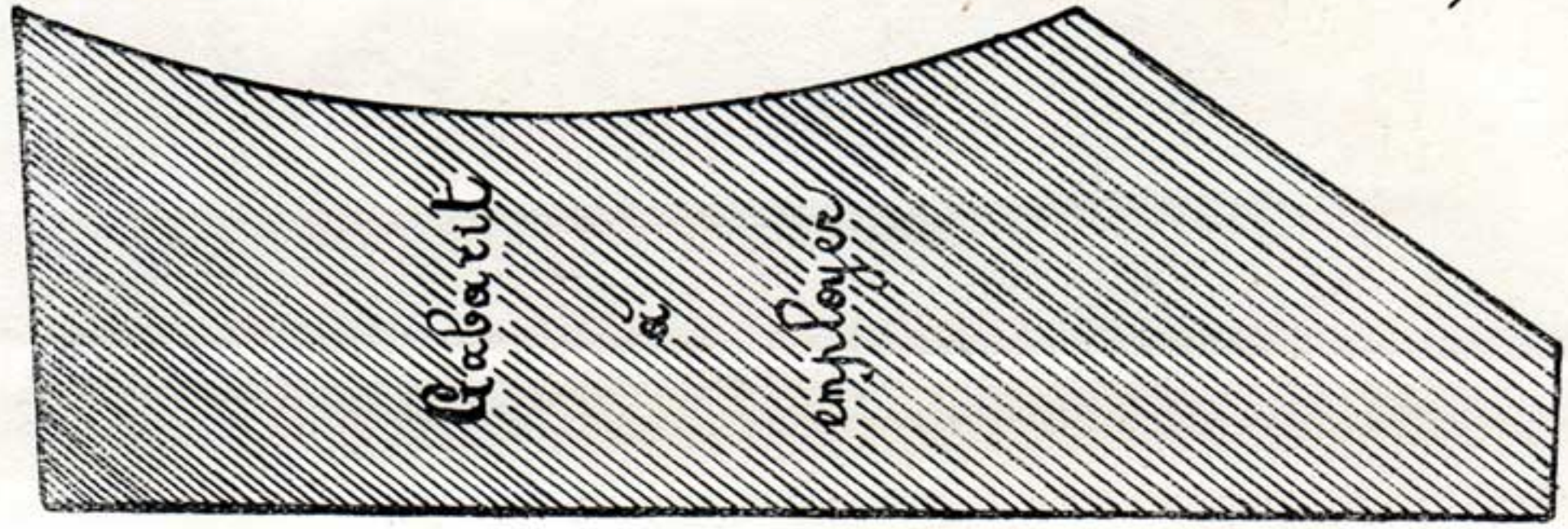
3) $I + III = 5$; $II + IV = 13.$

$\frac{13 - 5}{4} = 2 \text{ m/m}$, quantité dont la tige de tiroir doit être raccourcie.

Le cas échéant, on dresse le même tableau que dans la coulisse Stephenson et on l'examine pour rechercher, si possible, une combinaison plus avantageuse au point de vue de l'exécution des modifications nécessaires ; dans le cas présent, il n'y a pas de simplification possible.

Distribution "Walschaerts"

Premier examen de la distribution projetée.

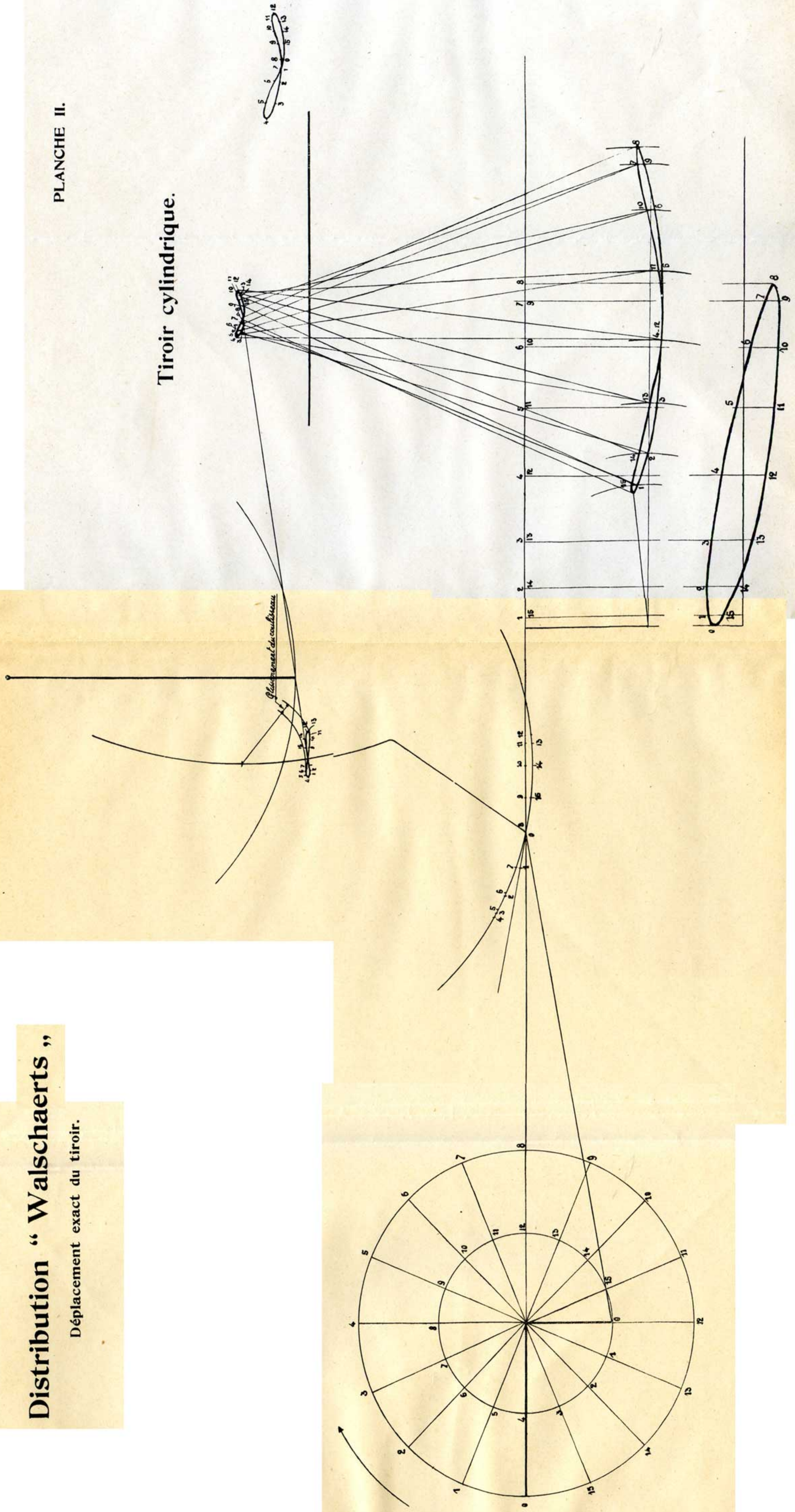


Distribution "Walschaerts"

Déplacement exact du tiroir.

PLANCHE II.

Tiroir cylindrique.



La Distribution de Vapeur dans les Locomotives

par N. HUFTY.

ERRATA

Page 6, 5^e ligne, après **cherchée**, ajouter : La valeur de celle-ci est $\omega^2 \times OR$, car $V = \omega \times CO$.

Page 7, remplacer la fig. 7.

Page 14, 3^e ligne, il y a : **ou** ; il faut **or**.

Page 19, remplacer la fig. 33.

Page 25, 4^e et 6^e ligne, il y a : **EG** ; il faut **FG**.

Page 40, 11^e ligne, il y a : **rapporche** ; il faut : **rapproche**.

Page 46, remplacer la fig. 66.

Page 53, 6^e ligne, il faut : Le mouvement transmis par le piston au tiroir est donc le même que si ce dernier était commandé...

Page 53, remplacer la fig. 73.

Page 54, avant-dernière ligne, il faut : Si le point D se trouvait sur la perpendiculaire abaissée de I sur la droite OD,...

Page 55, fig. 74 : placer la lettre I au centre d'oscillation de la coulisse.

Page 56, remplacer la fig. 75.

Page 56, § 45, 5^e ligne, supprimer la virgule après **possible**.

Page 60, après le 1^{er} § de l'art. 48, ajouter : ...supplémentaire ; il faudrait d'ailleurs faire abandon des tiroirs simples (§ 14).

Page 65, 16^e ligne, après **avance**, ajouter : **(fig. 88)**.

Page 91, fig. 107 ; placer la lettre I au centre d'oscillation de la coulisse.

Page 91, § 87 remplacer les 2 premiers paragraphes par ce qui suit :

Pour que la distribution fonctionne avec le maximum de régularité, il faut : 1^o que la droite IG soit parallèle à la d. m. t. ; le point G s'élevant et s'abaissant légèrement au cours des oscillations du levier d'avance (planches I et II), c'est sa position moyenne en hauteur qu'il faut considérer ;

2^o que la d. m. t. soit parallèle à la d. m. p.

Quant au point D, il doit, pour une bonne attaque de la coulisse, se trouver sur la circonférence décrite sur OI comme diamètre ; sa position se détermine d'après ce qui a été dit au § 43 ; on pourra toutefois allonger quelque peu le bras **c** pour diminuer la fatigue de la contremainevelle.

Page 92, supprimer les 12^e et 13^e lignes.

Page 111, à droite, dans le bas de la page, il faut :

$$, a'' = a' \times \frac{m + n}{m}$$

