

CHAPITRE II

ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE DE LA DISTRIBUTION DE LA VAPEUR

(Commande par excentriques et détente variable)

Pour toute distribution, on peut avoir à résoudre les deux problèmes suivants :

— Etant donnés les éléments d'un mécanisme de distribution, trouver à chaque instant les positions correspondantes du piston dans le cylindre et du distributeur par rapport aux orifices d'admission.

— Etant données les phases d'une distribution, trouver les dimensions des organes capables de la réaliser.

Ce problème est l'inverse du précédent, c'est celui qu'on a à résoudre dans l'établissement d'une machine.

Le premier problème fait l'objet des § suivants A, B, C, D ; et le second celui du § E.

A. — GÉNÉRALITÉS

1° Diverses parties à considérer dans une commande par excentrique.

Les machines locomotives sont à distribution par mouvement alternatif du distributeur et la commande des distributeurs se fait par manivelles, par excentriques ou par cames.

La transmission du mouvement du piston à la roue motrice s'effectue par la bielle motrice et la manivelle OM. La bielle est assimilable à une droite dont une extrémité (la petite tête) décrit une droite et dont l'autre extrémité (la grosse tête) décrit une circonférence de rayon OM *fig. 1*.

Le point mort arrière correspond à la position H du centre de la manivelle motrice et le point mort avant à la position B.

Si on néglige l'influence de l'obliquité de la bielle motrice par rapport à la ligne HB, les positions relatives du piston sont déterminées en projetant la manivelle motrice sur l'axe HB.

Dans la position de la *figure 1*, le chemin parcouru par le piston, depuis son fond de course avant : $b'P$ est égal à bM_1 et égal sensiblement à BD, si D est la projection de M sur HB ; l'erreur commise sera d'autant moins importante que la bielle motrice sera plus longue ; le rayon décrit de M_1 comme centre avec M_1M comme rayon se confondant dans ce cas avec la perpendiculaire MD.

a) **Avance linéaire.**

Cette particularité, qui sera d'ailleurs rappelée, est à retenir. Soit OM la manivelle motrice et MT la contre-manivelle prévue pour commander directement le tiroir (fig. 19). Si ce tiroir admet par les arêtes extérieures la contre-manivelle est en avant du mouvement, pour que l'admission soit légèrement ouverte à l'arrière du cylindre quand la manivelle motrice se trouve à son point mort AR ; et la quantité dont est ouvert l'orifice d'admission s'appelle : avance linéaire.

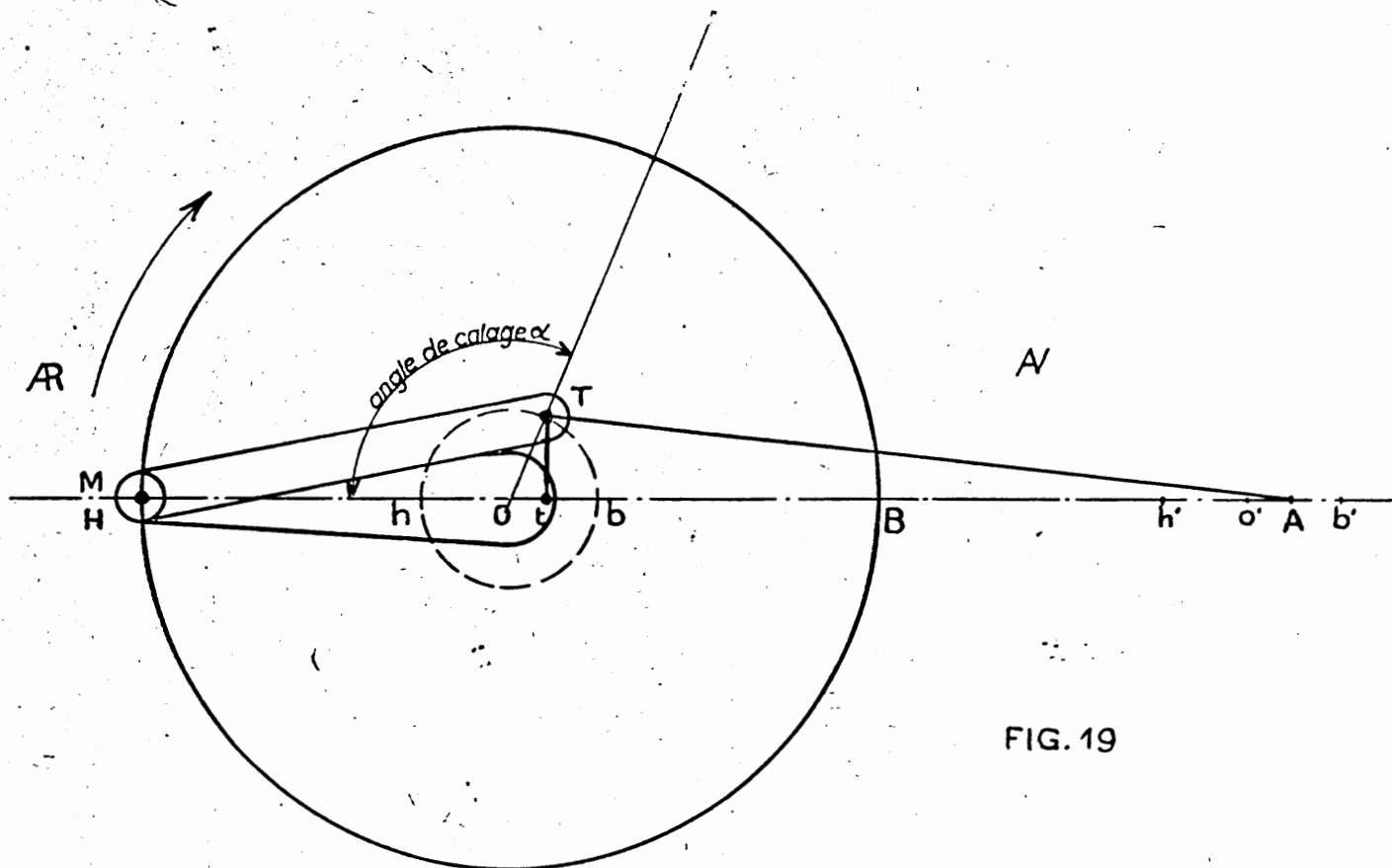


FIG. 19

b) **Angle de calage.**

Le centre T de la contre-manivelle décrit un cercle de centre O, de rayon OT, les points morts de ce centre sont h et b . La barre de commande du tiroir étant longue par rapport au rayon de la contre-manivelle, si on projette T en t sur hb , ht et tb sont sensiblement égaux à $h'A$ et Ab' , parce que l'arc de cercle décrit de A comme centre avec AT comme rayon se confond sensiblement avec la perpendiculaire Tt. On peut donc avoir les positions du tiroir et ses déplacements en projetant l'axe de la contre-manivelle sur la ligne hb des points morts. L'angle MOT formé par la manivelle et la droite OT qui figure la contre-manivelle virtuelle est l'angle de calage réel.

c) **Contre-manivelle et excentrique.**

Quand le cylindre est extérieur, on peut commander le tiroir par une contre-manivelle et on place alors le système manivelle-contre-manivelle en bout d'essieu.

Par contre, quand le cylindre est intérieur, on a généralement recours à un dispositif placé sur le corps de l'essieu et appelé : excentrique (fig. 20-21-22).

On ne peut en effet songer pour des raisons d'encombrement et de résistance à forger dans le corps de l'essieu, auprès du coude de la manivelle motrice, un second coude pour la commande du tiroir.

Soit, comme dans le cas précédent, la manivelle motrice OM, l'angle de calage MOT, formé par la manivelle motrice OM et le rayon OT passant par l'axe T du tourillon devant commander le tiroir (fig. 20). Si on grossit le diamètre de ce tourillon jusqu'à ce qu'il englobe complètement

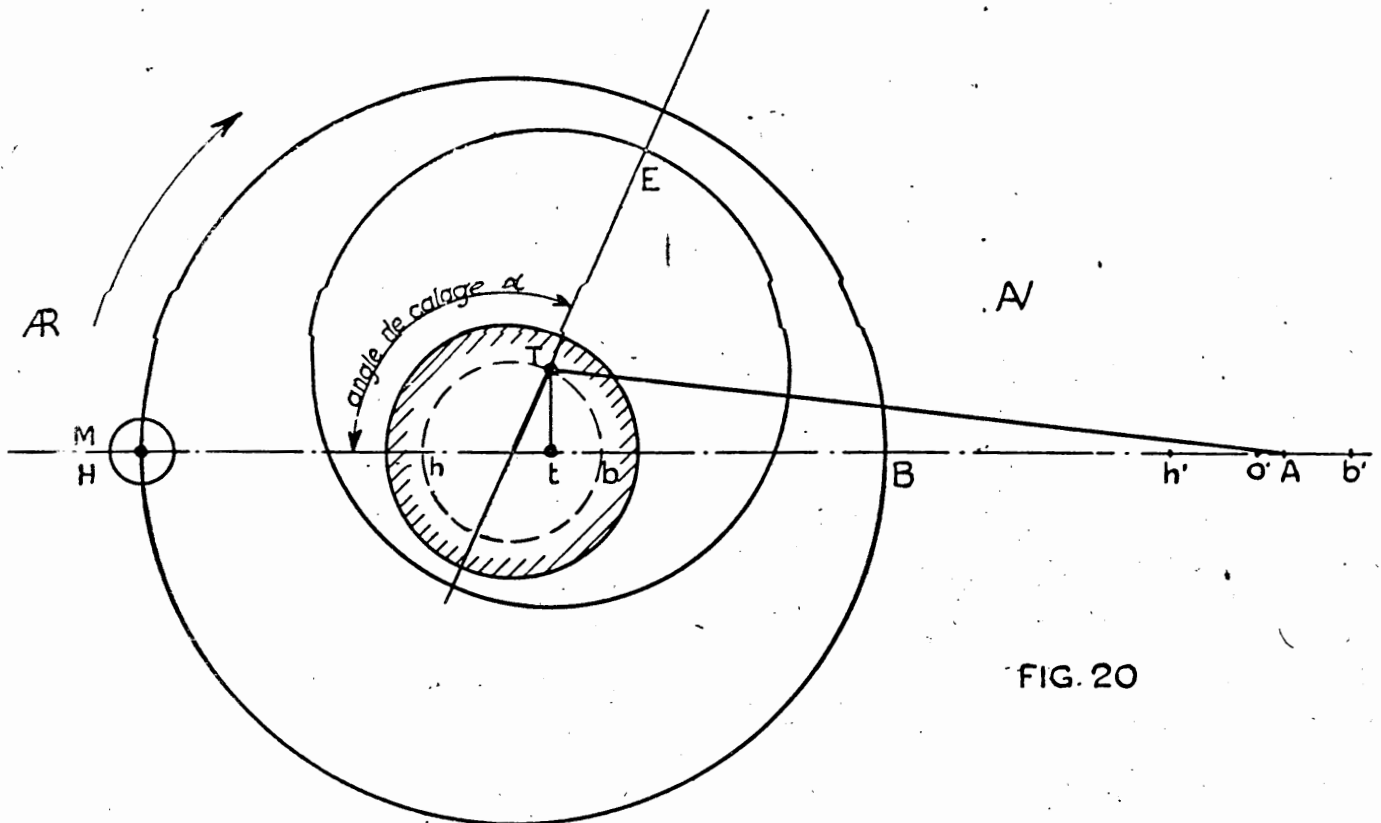


FIG. 20

l'essieu (suivant un cercle de rayon TE par exemple), et que le tiroir soit commandé par ce tourillon grossi et par l'intermédiaire d'un dispositif à collier (fig. 21 et 22), il recevra les mêmes mouvements que du point t , c'est-à-dire des déplacements égaux à ceux des projections de T sur hb . Pour réaliser cette disposition on fixe sur l'essieu un disque tourné (de rayon TE) qui entoure complètement l'essieu et dont le centre T ne correspond pas à l'axe O de l'essieu, mais fait avec la manivelle motrice l'angle de calage MOT.

d) **Rayons d'excentricité. Course du tiroir.**

Le rayon d'excentricité est la distance OT de l'axe de l'essieu à l'axe de la contre-manivelle ou de l'excentrique.

La course du tiroir est égale à deux fois le rayon d'excentricité.

$$2. OT = bh.$$

e) **Guidage rectiligne des petites têtes de barre d'excentrique et points morts.**

La disposition commune de ces deux organes dont les petites têtes ont un mouvement rectiligne et les grosses têtes un mouvement circulaire leur donne les propriétés ci-après :

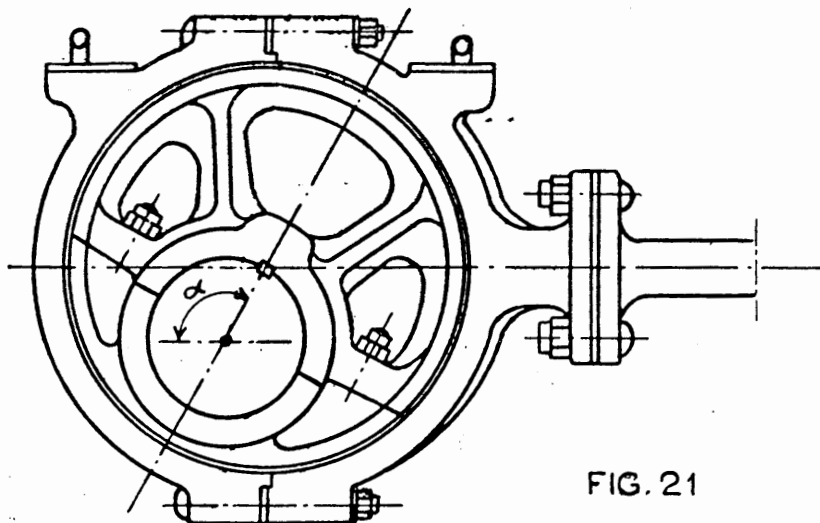


FIG. 21

— Lorsque le centre d'excentrique est à l'un de ses points morts, quel que soit le sens de

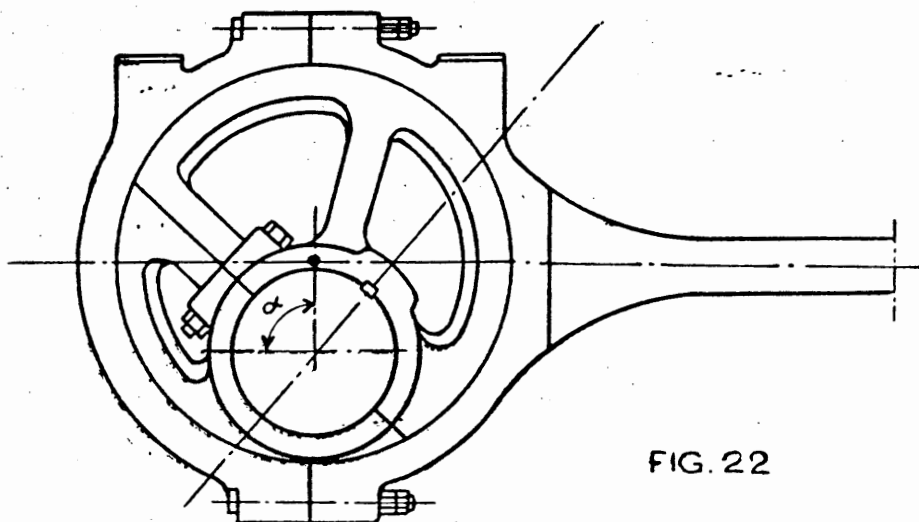


FIG. 22

rotation, la petite tête de la barre d'excentrique a toujours un déplacement de même sens. Ainsi le centre de l'excentrique étant en b , si on tourne dans le sens ba (fig. 23), la petite tête a_1 se déplace dans le sens b_1h_1 ; si l'on tourne dans le sens ba' la petite tête de barre se déplace encore suivant b_1h_1 .

— Pour toute autre position du centre d'excentrique, le sens du déplacement de la petite tête de barre dépend du sens du mouvement.

Ainsi pour la position (a), si on tourne dans le sens ah la petite tête (a_1) se déplace de a_1 vers h_1 , si l'on tourne dans le sens ab , la petite tête se déplace de a_1 vers b_1 .

— Sauf pour les points morts à chaque position de l'axe de la petite tête correspondent deux positions du centre d'excentrique, symétriquement placées par rapport à la ligne des points morts.

Ainsi au point a_1 de la petite tête (fig. 23) correspondent les deux positions a et a' du centre d'excentrique. Si la rotation se fait dans le sens ba , lorsque le centre passe en (a) la petite tête passe en a_1 et marche ensuite dans le sens a_1h_1 , lorsque, en continuant son mouvement, le centre d'excentrique passe en a' la petite tête revient en a_1 , mais cette fois en marchant dans le sens a_1b_1 .

Comme la longueur des barres d'excentriques est grande par rapport au rayon d'excentricité, on peut remplacer l'arc aa' par sa corde et les positions de la petite tête de barre d'excentrique sont obtenues en projetant sur hb le centre d'excentrique.

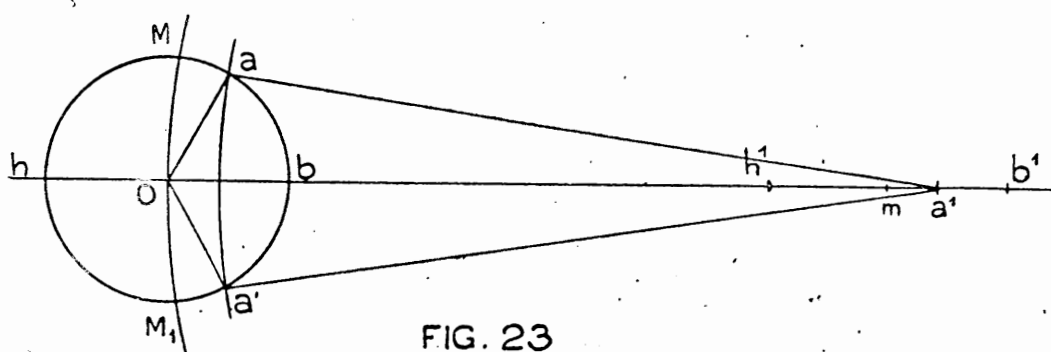


FIG. 23

Ces propriétés sont importantes et elles permettent de déterminer la valeur à donner à l'angle de calage.

2° Détermination des dimensions d'un excentrique.

a) Détermination de l'angle de calage.

Dans toute distribution par mouvement alternatif le calage est déterminé par l'un des angles d'ouverture des orifices d'admission ou d'échappement.

Soit O le centre de l'essieu (fig. 24), HB la ligne des points morts de la manivelle motrice, hb la ligne des points morts de l'excentrique, AD l'arc décrit par la manivelle motrice, pendant lequel l'admission se fait à l'arrière du cylindre, c'est-à-dire pendant lequel l'orifice d'admission NN' doit être ouvert, G étant le milieu de l'arc AD ; h_1b_1 , les positions extrêmes de la petite tête de barre d'excentrique.

Portons de chaque côté du point mort b les angles égaux bOa et bOd ayant pour valeur

$$AOG \text{ ou } \frac{AOD}{2}$$

L'angle de calage est AOa , nous le désignerons par α .

En effet, quand la manivelle motrice est en A, le centre d'excentrique étant en a , pendant que la manivelle motrice parcourt l'arc AD l'excentrique parcourt l'arc de même ouverture abd .

a_1 étant la position de la petite tête de barre d'excentrique correspondant à a et d , la petite tête occupe cette position deux fois par tour, une première fois en marchant vers b_1 lorsque le

centre d'excentrique est en a , une seconde fois en marchant vers h , lorsque le centre d'excentrique est en d .

La petite tête étant en a_1 , assurons la transmission entre ce point et le tiroir de façon que l'arête n du tiroir coïncide avec l'arête N de la table et qu'au sens de marche h, b_1 corresponde le sens de marche nX du tiroir.

Chaque fois que la petite tête passera en a_1 , l'arête n viendra au contact de N . Ce contact se produira deux fois par tour, une première fois pour l'ouverture de l'orifice d'admission NN' , le tiroir marchant dans le sens nX , une seconde fois pour la fermeture de cet orifice le tiroir marchant dans le sens Xn .

Le contact des arêtes se produit donc pour les positions A, D, de la manivelle motrice et la durée d'admission, c'est-à-dire la durée de l'ouverture de l'orifice, est bien celle qui a été prévue.

b) Détermination de la course.

Le calage de l'excentrique est fonction des phases de la distribution ; dans le cas précédent

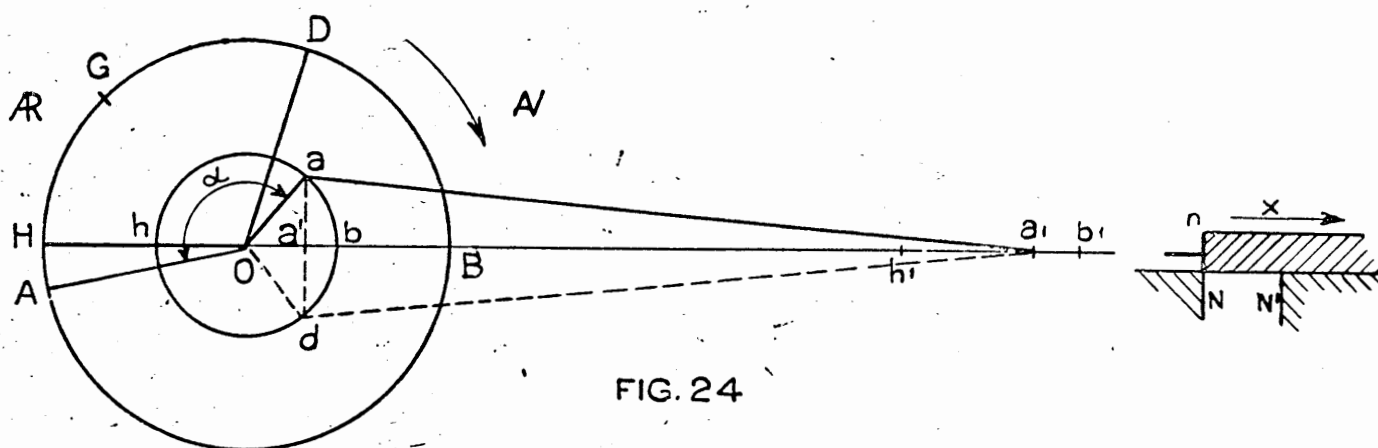


FIG. 24

par exemple, il a été déterminé par la période d'admission.

La course de l'excentrique est fonction des dimensions de la machine et aussi de la valeur des ouvertures qu'on veut donner aux orifices d'admission.

Quand la commande du tiroir se fait directement, comme dans le cas envisagé précédemment, le rayon de l'excentrique est déterminé par la grandeur d'ouverture à donner à l'orifice. Pour le cas des deux figures 23 et 24, l'ouverture maximum de l'orifice est $a_1b_1 = a'b$.

Pour obtenir une ouverture plus grande ou plus petite, il suffit d'augmenter ou de réduire le rayon oa sans changer l'angle de calage Aoa .

Quand la commande du tiroir ne se fait pas directement, on règle la course, en agissant sur les bras de levier interposés.

B. — ÉPURE CIRCULAIRE

1° Conditions d'établissement de l'épure.

Il s'agit toujours de déterminer les positions correspondantes du piston et du tiroir, les éléments du mécanisme de la distribution étant donnés, autrement dit de déterminer les phases de la distribution.

Il faut donc connaître les positions relatives des huit arêtes : les deux arêtes d'admission et les deux arêtes d'échappement du tiroir qui sont mobiles, les deux arêtes d'admission et les deux arêtes d'échappement de la table du tiroir qui sont fixes.

Comme précédemment, la liaison entre la petite tête de barre d'excentrique et le tiroir se fait à l'aide d'une tige rigide de sorte que les déplacements de la petite tête et du tiroir sont les mêmes. De même les déplacements du piston sont les mêmes que ceux de la petite tête de bielle motrice. Mais que sont exactement les déplacements de la petite tête de bielle motrice par rapport aux projections de la grosse tête sur la ligne des points morts ?

Soit OM la manivelle motrice (fig. 25), H et B les points morts de la grosse tête, H_1 , B_1 les points morts de la petite tête, MM_1 , une position quelconque de la bielle ; lorsque la manivelle passe de M en B , le piston passe de M_1 en B_1 . Peut-on mesurer ce chemin sur HB ? A cet effet, on décrit de M_1 comme centre avec la longueur de bielle MM_1 comme rayon un arc de cercle qui coupe HB en P .

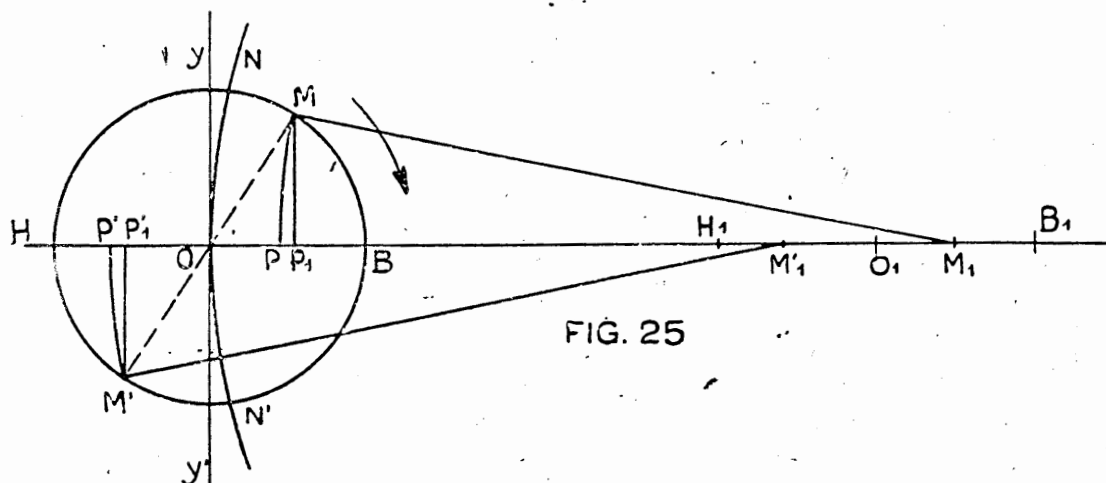


FIG. 25

$MM_1 = BB_1 = PM_1$ et $BB_1 - BM_1 = PM_1 - BM_1$
c'est-à-dire : $B_1M_1 = BP$.

Pour la position M' de la manivelle symétrique de M par rapport à O , le chemin parcouru par la petite tête serait de même quand la manivelle passe de M' en H .

$$P'H = M'_1H_1$$

A cause de l'obliquité de la bielle motrice, les chemins BP et $P'H$ sont inégaux et pour la même raison les deux demi-courses HO , OB correspondent aux arcs inégaux HN , NB .

Si la bielle motrice était très longue, les positions des points P et P' seraient P_1 et P'_1 projections de M et de M' sur HB . Pour l'épure circulaire on admet cette hypothèse, puis on examine ensuite les corrections à faire.

Pour la barre d'excentrique qui est très longue par rapport au rayon d'excentricité, l'erreur commise en négligeant son obliquité est peu sensible et il n'en est pas tenu compte.

Il s'en suit que pour obtenir les positions du piston et du tiroir, il suffit d'abord de projeter le centre de la manivelle et le centre de l'excentrique sur la ligne des points morts, puis de corriger l'erreur due à l'obliquité de la bielle motrice.

Comme l'épure doit donner les dimensions relatives au tiroir et à la table on trace en vraie grandeur, la circonférence décrite par l'axe de l'excentrique. La circonférence décrite par l'axe de la manivelle motrice qui est beaucoup plus grande peut être réduite sans inconvénient et on la représente par la circonférence décrite par l'excentrique, l'échelle de réduction étant égale au rapport des rayons d'excentricité et de manivelle motrice.

Les lignes des points morts BH et bh sont ainsi confondues.

Soit M une position quelconque de la manivelle motrice et α l'angle de calage, le rayon d'excentrique occupe la position Om (fig. 26).

Depuis son point mort, H le piston a parcouru la fraction de course $\frac{HP}{HB}$, le point P étant obtenu en projetant M sur BH.

Le tiroir est allé vers l'avant et est distant de Ot de sa position moyenne O, le point t étant la projection de m sur BH. Lorsque la manivelle motrice était en H, le rayon d'excentrique était en un point H' en avance dans le sens du mouvement de l'angle de calage α . On trace le diamètre H'B' et on abaisse du point m la perpendiculaire mP' sur ce diamètre.

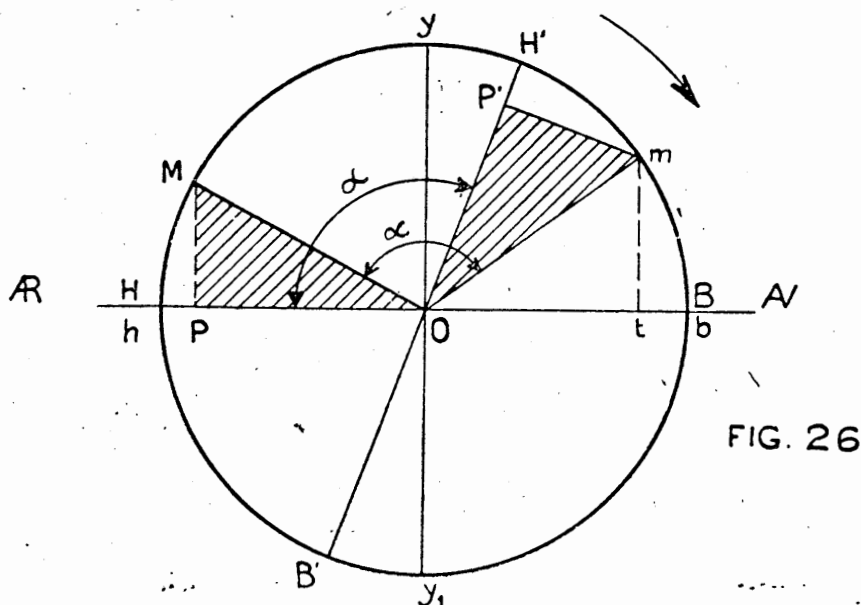


FIG. 26

Les deux triangles rectangles OmP' et OMP sont égaux comme ayant l'hypoténuse égale Om = OM et un angle aigu égal :

$$MOP = mOP' = \alpha - MOP'.$$

De l'égalité de ces triangles, il résulte que :

$$\begin{aligned} OP &= OP' \\ \text{donc } HP &= H'P' \end{aligned}$$

H'P' mesure donc le déplacement du piston qui est, en réalité HP. Il suffit donc pour avoir les déplacements successifs du piston de tracer une fois pour toutes, le diamètre H'B' faisant avec la ligne des points morts hb l'angle de calage α .

Les perpendiculaires mt et mP' nous fournissent les positions simultanées du tiroir et du piston.

Pour déterminer avec certitude le sens des déplacements du tiroir et du piston, il faut (fig. 25) :

— Bien observer le sens de rotation qui est évidemment le même pour l'excentrique et pour la manivelle, ainsi en marche avant le sens de rotation sera celui des aiguilles d'une montre.

Pour déterminer le sens du déplacement du tiroir prendre ce sens de rotation et si l'excentrique se déplace au-dessus du diamètre hb le tiroir se déplace de h vers b , c'est-à-dire de l'arrière vers l'avant. Quand l'excentrique se déplace au-dessous du diamètre hb , le tiroir se déplace de b

vers h , c'est-à-dire de l'avant vers l'arrière. La même règle est valable pour le déplacement du piston.

2° Construction de l'épure.

Pour construire l'épure, on trace la circonférence décrite par l'excentrique, puis on mène (*fig. 26*) les diamètres : hb ligne des points morts sur laquelle on mesurera les déplacements du tiroir, yy , ligne mi-course du tiroir ; $H'B'$ faisant avec hb , dans le sens du mouvement, l'angle de calage α parce que le tiroir considéré admet par les arêtes extérieures ; on mesurera les courses du piston sur ce diamètre.

Si le tiroir admettait par les arêtes intérieures, on devrait porter l'angle de calage dans le sens contraire du mouvement pour déterminer HB.

En effet, si on considère la *figure 24*, on remarque que la manivelle motrice est à son point mort arrière et que l'angle de calage est porté dans le sens du mouvement. Le tiroir doit dans cette position découvrir l'orifice d'admission d'une certaine quantité égale par définition à l'avance linéaire. La manivelle motrice continuant son mouvement de l'arrière vers l'avant, le tiroir se déplace de l'arrière vers l'avant également augmentant l'ouverture, d'admission. Si le tiroir admettait par les arêtes intérieures comme dans la plupart des tiroirs cylindriques (*fig. 17*), le tiroir devrait au contraire se déplacer de l'avant vers l'arrière, à l'inverse de la manivelle et il faudrait donc que l'angle de calage soit en retard.

Montrons comment l'épure circulaire permet de résoudre le premier problème : trouver à chaque instant les positions relatives des organes et le sens de leur mouvement.

Soit une position quelconque du centre de l'excentrique m , abaissons les perpendiculaires mt et mP sur hb et HB (*fig. 27*).

— Position du piston.

Le piston est en P, il marche dans le sens HB et il a parcouru $\frac{HP}{HB}$ depuis H, il va de l'arrière vers l'avant.

— Position du tiroir.

Le tiroir est en t , il marche dans le sens bh , c'est-à-dire de l'avant à l'arrière, il a parcouru le chemin bt depuis le point mort avant b . Le cylindre arrière est ouvert à l'admission et le cylindre avant est ouvert à l'échappement.

— Position de la manivelle motrice.

La manivelle motrice est en M ; elle n'est pas encore arrivée à sa position mi-course ; le point M s'obtient en portant sur la circonférence en sens contraire du mouvement arc $mM =$ arc Hh .

3° Phases de la distribution.

Nous supposons d'abord le tiroir dans sa position moyenne en O (*fig. 26*), cette position a lieu deux fois par tour pour les positions y et y_1 du centre d'excentrique.

a) Admission cylindre arrière.

L'admission au cylindre arrière est réglée par les arêtes AR. V, ar. v (*fig. 14*) ; plaçons les arêtes en contact, il nous faut pour cela déplacer le tiroir de sa position moyenne vers l'avant d'une quantité égale au recouvrement à l'admission.

Portons donc sur l'épure dans le sens arrière-avant et à partir de la ligne de mi-course, la distance Oi égale au recouvrement à l'admission.

La position i du tiroir, correspond suivant son sens de déplacement à l'ouverture de l'orifice ou à la fermeture. Les positions correspondantes du centre de l'excentrique sont symétriques

par rapport à la ligne des points morts, pour les obtenir, il suffit de mener par i la perpendiculaire ad à hb , l'admission commence en a , se termine en d , l'arc d'admission est donc ad .

Le point H divise cet arc en deux parties aH et Hd qui correspondent l'une à l'avance à l'admission, l'autre à la période d'admission.

Il y a trois façons de définir l'avance à l'admission.

— l'avance angulaire.

C'est l'angle aOH dont la manivelle motrice doit tourner pour que le piston parvienne à son point mort H .

— l'avance en fraction de la course.

C'est le rapport $\frac{AH}{BH}$ de la fraction de course que le piston doit parcourir pour arriver à son point mort.

— l'avance linéaire.

C'est la quantité ii' dont l'orifice d'admission est ouvert lorsque le piston est à son point mort. Cette dimension sert généralement à la mise en place du tiroir sur sa table quand on règle la distribution. Le maximum d'ouverture est égal à ib .

b) Echappement cylindre arrière.

Nous considérons toujours le tiroir dans sa position moyenne O , l'échappement au cylindre arrière est réglé par les arêtes $AR.E$ et $ar.e$ (fig. 14).

Pour amener ces arêtes en contact, il faut déplacer le tiroir vers l'arrière d'une quantité égale au recouvrement à l'échappement. On est donc conduit à porter dans le sens avant-arrière la quantité Os égale à ce recouvrement, à tracer la droite ec perpendiculaire à hb passant par le point s , l'échappement commence en e , se termine en c , l'arc d'échappement est ehc . Cet arc est partagé par le point B en deux parties : eB qui correspond à l'avance à l'échappement et Bc à la phase d'échappement.

Sur une machine à tiroirs plans, l'avance linéaire à l'échappement ne peut être aussi facilement mesurée que l'avance linéaire à l'admission.

Les trois façons de définir l'avance à l'échappement sont respectivement :

— l'avance angulaire eOB ;

— l'avance en fraction de la course $\frac{BE}{BH}$;

— l'avance à l'échappement ss' .

L'ouverture maximum à l'échappement est égale à hs .

c) Détermination des phases.

Pour le cylindre arrière :

	Excentrique	Tiroir	Piston
Avance à l'admission	aH	ii'	AH
Admission	Hd	$i'bi$	HD
Détente	de	is	DE
Avance à l'échappement	eB	ss'	EB
Echappement	Bc	$s'hs$	BC
Compression	ca	si	CA

FIG. 27

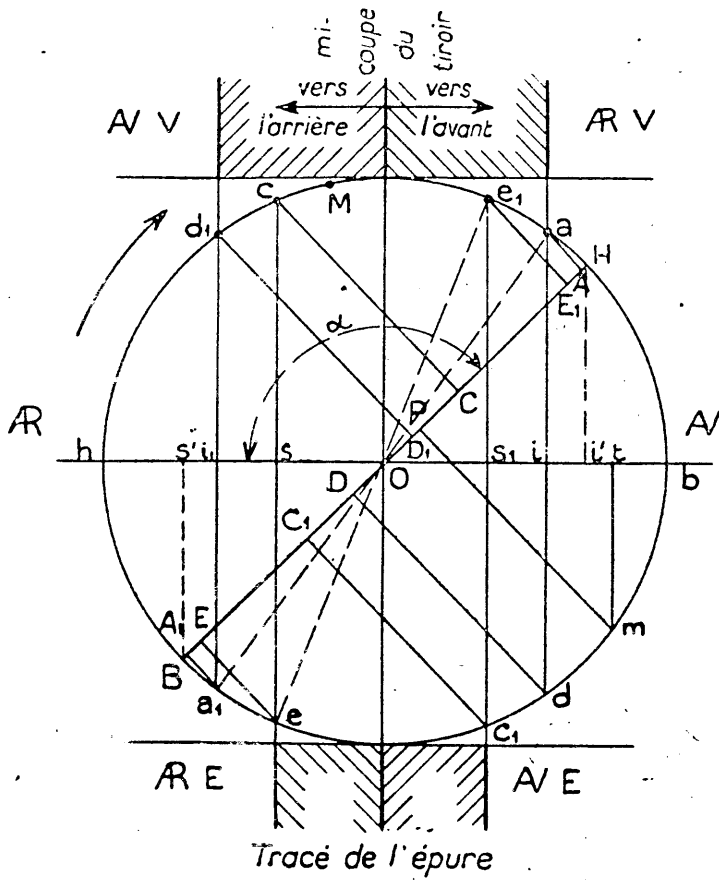


FIG. 28

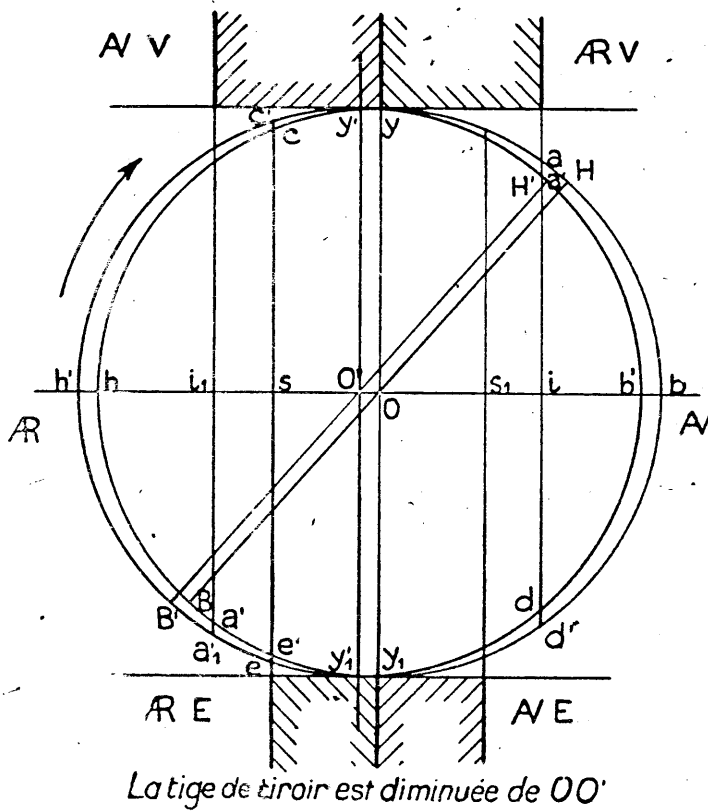
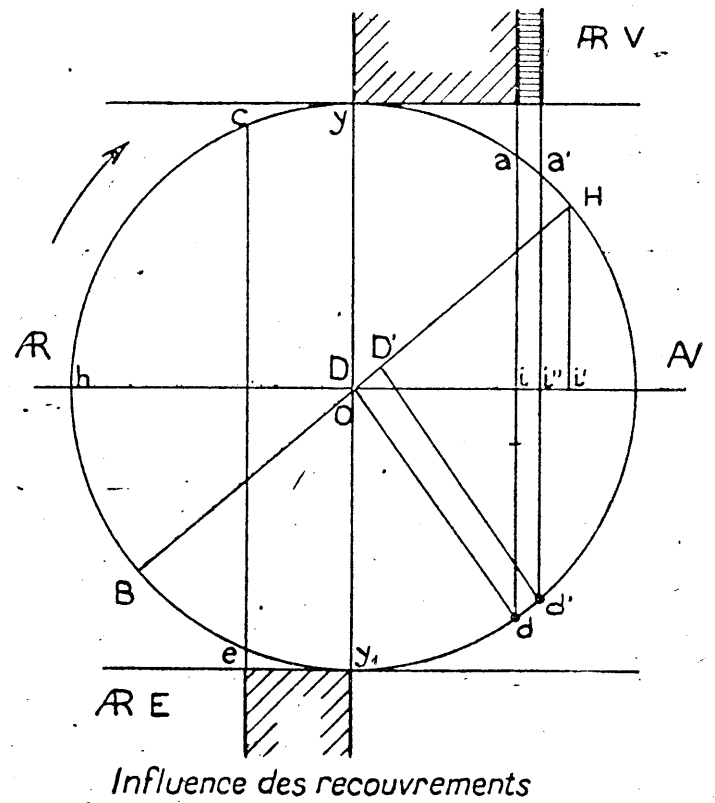


FIG. 29

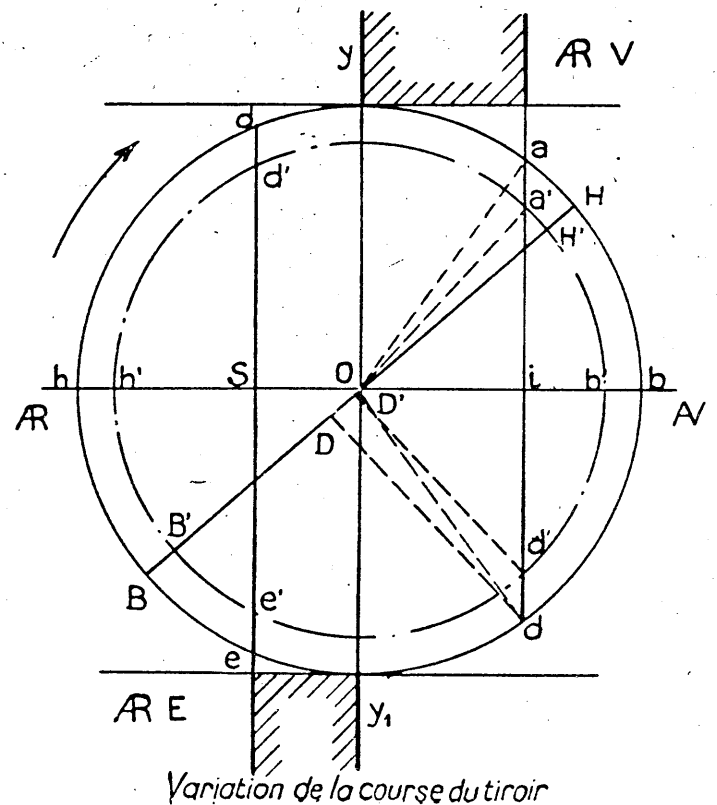


FIG. 30

Pour le cylindre avant :

	Excentrique	Tiroir	Piston
Avance à l'admission.....	a_1B	i_1s'	A_1B
Admission.....	Bd_1	$s'hi_1$	BD_1
Détente.....	d_1e_1	i_1s_1	D_1E_1
Avance à l'échappement.....	e_1H	s_1i'	E_1H
Echappement.....	Hc_1	$i'bs_1$	HC_1
Compression.....	c_1a_1	s_1i_1	C_1A_1

REMARQUE I. — Il convient de suivre ces épures à l'aide d'un montage exécuté en papier fort représentant la coupe du cylindre, le tiroir et le piston étant mobiles.

Sur l'épure circulaire de la *figure 27*, les recouvrements sont indiqués par les parties hachurées à droite et à gauche de la ligne mi-course du tiroir yy_1 .

Ceux d'admission en haut de la figure, ceux d'échappement en bas. En dehors des parties hachurées sont les indications :

AV. V. Cylindre avant. Vapeur. AV. E. Cylindre avant. Echappement.

AR. V. Cylindre arrière. Vapeur. AR. E. Cylindre arrière. Echappement.

AR. V. et AV. E sont du côté du point mort avant du tiroir b .

AV. V. et AR. E sont du côté du point mort arrière du tiroir h .

Ces indications montrent quels sont les orifices qui sont ouverts ou fermés pour une position quelconque du centre d'excentrique.

REMARQUE II. — Sur l'épure circulaire, on porte le recouvrement arrière-vapeur : AR. V. = oi , à droite de yy_1 , c'est-à-dire en avant, bien que ce soit un recouvrement placé vers l'arrière.

Afin qu'il n'y ait aucun doute à ce sujet, il faut remarquer que oi représente le chemin parcouru par l'arête $ar. v.$ sur la table jusqu'à ce qu'elle vienne en contact avec l'arête AR. V. de la table, cette longueur étant égale au recouvrement à l'admission.

4° Influence des recouvrements.

Par exemple, si on augmente le recouvrement à l'admission pour l'orifice AR. V. (*fig. 28*) d'une quantité ii'' , le nouveau recouvrement sera oi'' .

Par i'' , on mène la perpendiculaire $a'd'$ à hb .

L'arc d'admission, qui était primitivement ad , devient $a'd' < ad$. Cet arc diminue de quantités égales de chaque côté, donc l'avance à l'admission diminue en même temps que l'admission.

L'avance linéaire, qui était ii' , devient i'' . i'' , elle diminue donc de ii'' . Si on prend un recouvrement égal à oi , on voit que l'avance devient nulle : on peut même, en prenant un recouvrement plus grand que oi , obtenir un retard à l'admission.

On remarque également que la compression et la détente augmentent au détriment de l'avance à l'admission et de l'admission.

La diminution des recouvrements produit l'effet inverse.

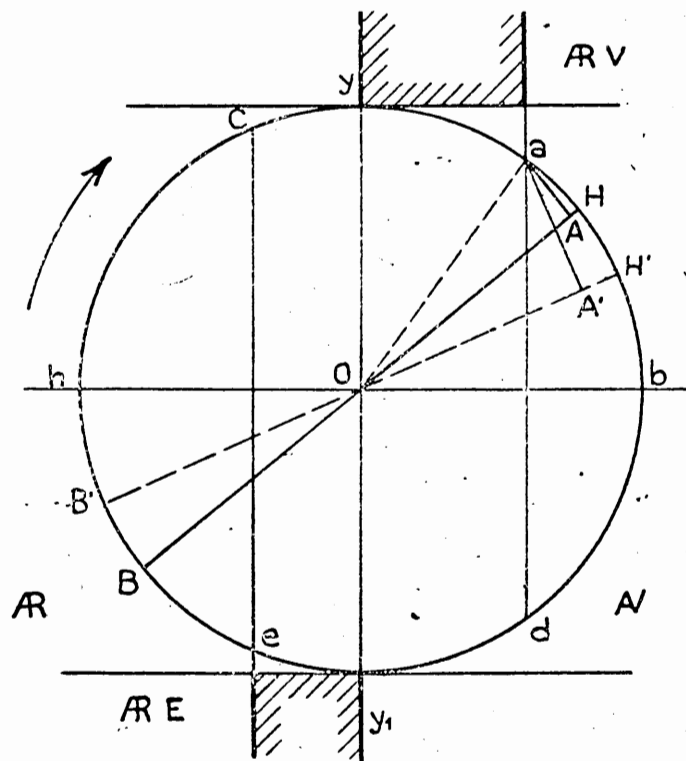
5° Modification de la longueur de la tige de tiroir.

Par exemple, si on diminue la tige de tiroir d'une quantité oo' sans toucher aux recouvrements primitifs (*fig. 29*).

Cette variation de longueur modifie en même temps tous les recouvrements, mais dans des sens différents.

Les recouvrements AR. V., AV. E. augmentent, tandis que les recouvrements AV. V., AR. E. diminuent.

Pour trouver les nouvelles phases, il suffit de porter sur hb , la diminution de la longueur de la tige de tiroir oo' , on reconstruit l'épure avec o' comme centre et $y'y_1$ comme ligne mi-course et on déplace BH parallèlement à elle-même, mais sans modifier les positions des points i, s, i_1, s_1 .



Variation du calage

FIG. 31

On trouve ainsi les variations obtenues dans les différentes phases. En particulier l'avance à l'admission AR. V. est presque nulle tandis que l'avance à l'admission AV. V. est exagérée.

On se rend compte par cette épure de l'importance qui réside dans le réglage de la longueur de la tige de tiroir d'une distribution.

6° Variation de la course du tiroir.

Si on réduit la course de l'excentrique sans modifier le calage et les recouvrements, on a, par exemple en $h'b'$ le nouveau diamètre d'excentricité ou la nouvelle course du tiroir (fig. 30).

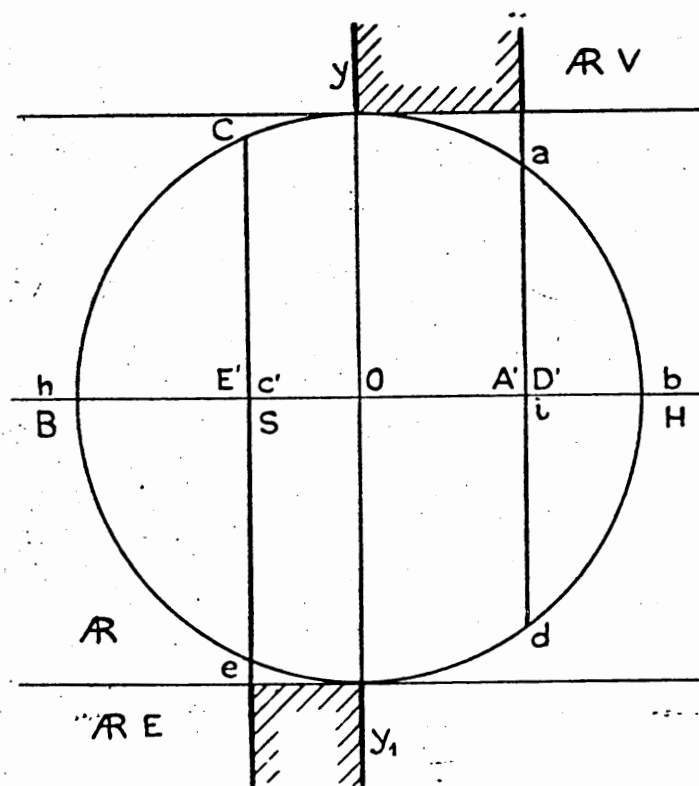
On trace la circonférence de diamètre $h'b'$ et on détermine les nouvelles phases de la distribution en rapportant les courses du piston sur $H'B'$ qui représente la course totale dans la nouvelle distribution réalisée.

L'arc d'admission ad devient $a'd' < ad$ car l'angle $a'Od'$ est plus petit que l'angle aOd .

La fraction d'introduction diminue également :

$$\frac{H'D'}{B'H'} < \frac{HD}{BH}$$

Il en est de même de l'avance à l'admission, ainsi que de l'ouverture maximum des orifices $ib' < ib$.



Calage à 180°

FIG. 32

Par conséquent, la réduction de la course diminue l'avance à l'admission et l'admission ; les mêmes modifications ont lieu pour l'échappement ; le travail produit diminue.

7° Variation du calage.

a) Influence sur les phases.

Si le nouvel angle de calage est $hOH' > hOH$ (fig. 31), les arcs d'ouverture des orifices ne sont pas modifiés, mais ils sont partagés d'une manière différente par le diamètre $H'B'$ correspondant au nouveau calage.

Les avances augmentent et les périodes d'admission et d'échappement diminuent.

Ce nouveau calage peut être obtenu avec un nouvel excentrique ; nous verrons comment on réalise ce nouveau calage dit « fictif » sans changer d'excentrique et en conservant l'angle de calage réel.

b) Calage à 180° . Marche au point mort.

L'angle de calage étant de 180° , les diamètres hb et HB sont confondus (fig. 32).

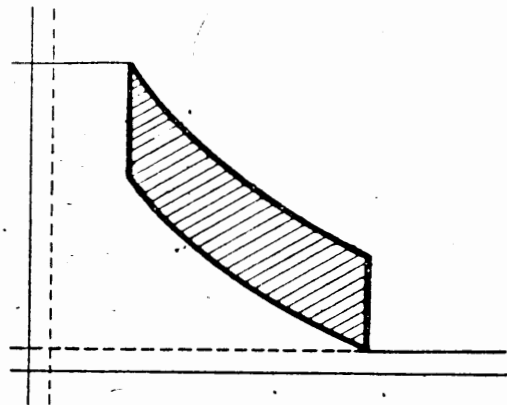
Les nouvelles phases de la distribution sont limitées pour le piston par les points $A'D'$ confondus avec i et les points $E'e'$ confondus avec le point s .

On a donc la relation suivante entre les phases :

avance à l'admission = admission,
avance à l'échappement = échappement,
détente = compression.

De l'égalité de ces phases, on ne peut pas en déduire l'égalité des travaux positifs et des travaux négatifs, mais le travail produit ne peut être que très faible.

Le travail moteur et le travail résistant ne se compensent pas, la pression moyenne de vapeur étant plus élevée pendant la détente que pendant la compression. La rapidité de la marche et la faible ouverture des lumières réduisent l'entrée de vapeur pendant l'admission anticipée. C'est surtout pendant la période d'admission que s'exerce la pression alors motrice ; d'autre part, la vapeur ne sort pas instantanément du cylindre au début de l'avance à l'échappement et continue à pousser le piston. La figure 32 bis représente le diagramme théorique sans laminages correspondant.



c) Marche arrière.

Si on augmente le calage au-delà de 180° , les avances deviennent supérieures aux périodes de pleine ouverture, la somme des travaux négatifs l'emporte sur celle des travaux positifs et le mouvement dans le sens primitif hyb (fig. 33), est impossible. La machine doit tourner dans le sens contraire hy_1b , et pour un calage tel que hoH' symétrique de hoH par rapport à hb le travail produit, pour ce nouveau sens de marche est évidemment le même que pour le sens primitif avec le calage hoH .

Pour changer la marche d'une machine, il suffit donc de changer le calage de l'excentrique sans modifier les longueurs de tiges et de tiroir.

L'angle HOH' des deux diamètres BH , $B'H'$ est appelé angle de changement de marche ou angle de décalage de l'excentrique.

On obtient donc la marche arrière si on dispose d'un excentrique H' symétrique de H par rapport à la ligne hb .

On verra dans la suite du cours qu'on ne peut pas réaliser : la marche avant, l'arrêt et la marche arrière d'une machine et faire varier son travail avec seulement deux excentriques calés symétriquement comme l'indique la figure 33. On utilise alors un organe appelé coulisse placé entre les extrémités des deux barres d'excentriques et on démontre qu'en manœuvrant cette coulisse à l'aide du changement de marche, le tiroir se trouve commandé par un excentrique dit « fictif » : G , dont l'angle de calage et la course sont variables (fig. 54).

Marche au point mort

FIG. 32 bis

En manœuvrant le changement de marche de la position fond de course avant à la position fond de course arrière, on réalise les variations suivantes :

Position de l'index du changement de marche	Position de l'angle de calage fictif. hoG	Sens de la marche	Degré d'admission	Avance à l'admission	Angle de calage	Course du tiroir
Fond de course AV.....	$hoG = hoH$	avant	max.	min.	min.	max.
Entre fond de course AV et zéro	$hoH < hoG < 180^\circ$	avant	décroit	croît	croît	décroit
Au zéro de la réglette....	$hoG = 180^\circ$	arrêt (1)	très faible	égale à l'admission	180°	min.
Entre zéro et fond course AR	$180^\circ < hoG < hoH'$	arrière	croît	décroit	croît	croît
fond course AR.....	$hoG = hoH'$	arrière	max.	min.	max.	max.

(1) En réalité, on a vu que le point mort est le milieu d'une zone neutre où il subsiste un travail moteur qui peut être suffisant pour entretenir le mouvement de la machine dans le sens où elle a été lancée, ce qui paraît paradoxal à priori.

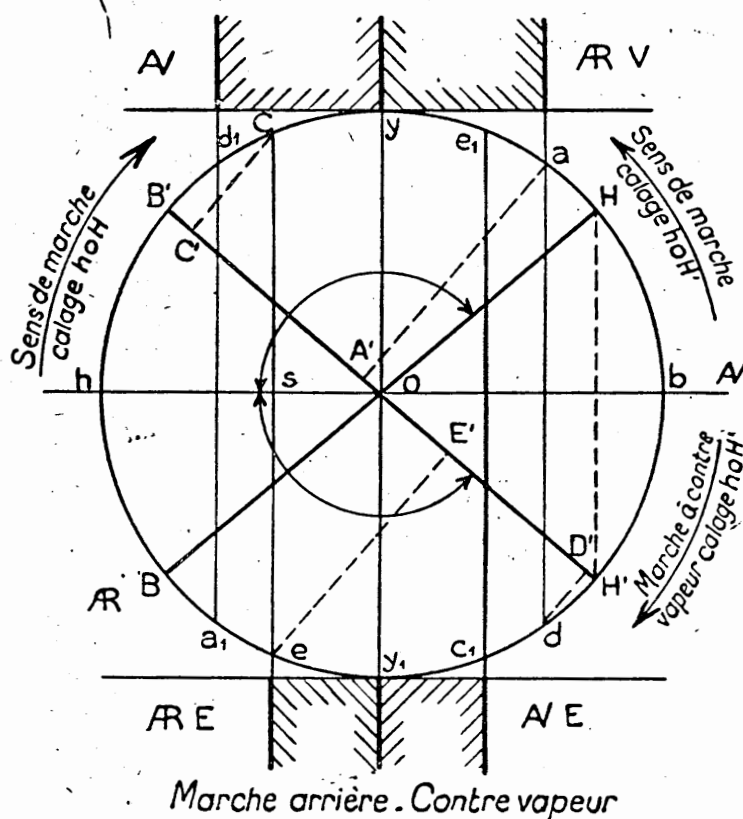


FIG. 33

Nous voyons que l'admission de vapeur diminue à mesure que l'index de l'appareil de changement de marche se rapproche du zéro de la réglette. En même temps que l'admission diminue les périodes d'avance à l'échappement et de compression augmentent.

Ainsi, lorsque le changement de marche se rapproche du point mort, le travail de la vapeur par coups de piston se trouve réduit.

Au lieu de toucher au changement de marche, on peut réduire l'ouverture du régulateur et laminer la vapeur. La pression est alors plus faible dans les boîtes à vapeur que dans la chaudière et plus on ferme le régulateur, plus on fait baisser la pression de la vapeur employée dans les cylindres et plus on réduit le travail moteur par coup de piston. Mais on n'agit plus sur l'échappement anticipé ni sur la compression.

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

b) Marche à contre-vapeur.

Lorsqu'une machine fonctionne normalement, si à un instant donné on renverse le sens de la

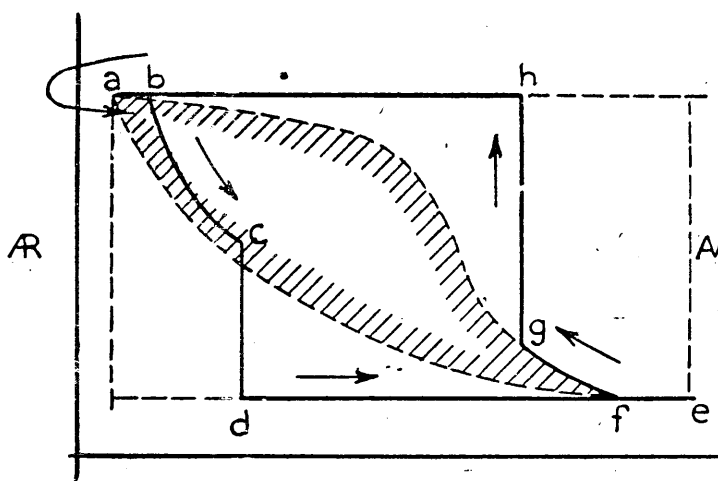


FIG. 34

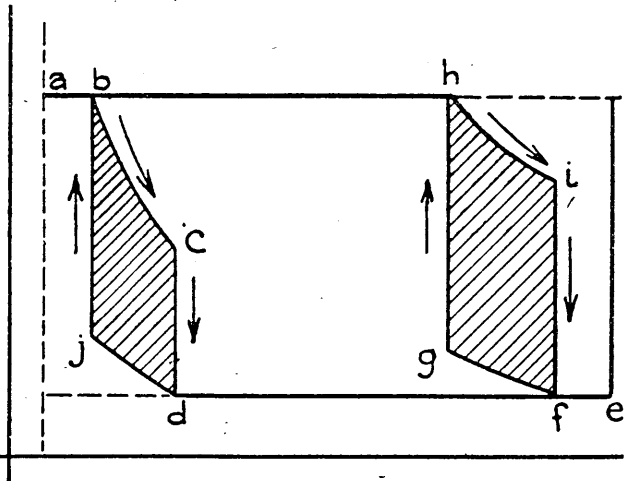


FIG. 35

distribution et que la machine continue à tourner à cause de la vitesse acquise, on réalise ainsi la marche à contre-vapeur (fig. 33).

Le cylindre de la machine fonctionne comme une pompe ou un compresseur, car il aspire dans l'échappement et refoule dans la boîte à vapeur.

A cause des effets d'inertie le changement de marche ne peut être effectué instantanément, il doit être réalisé d'autant plus lentement que l'inertie de l'essieu moteur a plus d'importance.

Le piston étant à son point mort arrière H, la machine allant vers l'avant, donc la manivelle tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, on fait varier le calage de l'excentrique de façon à amener l'excentrique de H en H'. C'est sur le nouveau diamètre H'B' symétrique de HB par rapport à hb que l'on projette alors le bouton de manivelle pour avoir les positions du piston.

Prenons le cylindre arrière, le piston étant en H' (fig. 33). Quand celui-ci va se déplacer l'orifice d'admission est ouvert, mais cette admission se referme aussitôt en d, le piston parcourt H'D', c'est la courbe ab du diagramme (fig. 34). La quantité de vapeur qui est ainsi rentrée dans le cylindre se détend alors et pousse le piston jusqu'en E', l'orifice d'échappement s'ouvrant en e, c'est la courbe bc du diagramme. Le piston continue son mouvement jusqu'à son fond de course B' — courbe cde du diagramme. Le piston revenant en arrière est d'abord pendant un faible parcours soumis à la simple résistance de la pression de l'échappement de B' en C' — courbe ef du diagramme. A ce moment la communication du cylindre avec l'échappement se ferme une légère compression se produit dans le cylindre jusqu'à ce que la lumière s'ouvre à l'admission, le piston parcourt donc C'A' — courbe fg du diagramme. L'orifice d'admission s'ouvrant, la pression de la boîte à

vapeur s'exerce contre le piston et lui oppose une résistance importante jusqu'à la fin de sa course en H' — courbe *gha* du diagramme.

Le travail résistant de la contre-vapeur, pendant un tour de la machine, est moindre que le travail moteur dans la marche normale au même cran de la distribution (fig. 35).

S'il n'y avait pas de laminage de la vapeur (cas d'une marche très lente), le diagramme donné par un indicateur se rapprocherait du contour *a h i f e d j b a* pour la marche normale. La différence de surface de ce diagramme avec celui obtenu dans la marche à contre-vapeur au même cran de marche est représenté par les zones hachurées. Mais il se produit un *laminage* qui modifie la surface de ces diagrammes de sorte que le diagramme réel se rapproche du tracé en pointillé de la figure 34. Si la vitesse augmente la surface de ce diagramme diminue de plus en plus, c'est ce qui explique qu'à grande vitesse la contre-vapeur est très peu efficace pour arrêter un train ; un mécanicien doit donc, autant que possible en faire usage avant que la vitesse de son train ne devienne trop élevée.

La contre-vapeur appliquée sans disposition spéciale a de graves inconvénients : pendant le parcours *d-e*, le piston aspire, dans la boîte à fumée, de l'air chaud qui peut entraîner du combustible finement pulvérisé. Une fois entré dans le cylindre cet air chaud est comprimé en *fg* : la compression de l'air élève sa température de sorte que déjà chaud il s'échauffe davantage, exposant les cylindres et les tiroirs à des grippages. En outre, l'air est refoulé dans la chaudière et gêne le fonctionnement des injecteurs.

L'injection de vapeur et d'eau chaude dans les conduits d'échappement fait disparaître ces inconvénients : l'eau chaude en sortant de la chaudière à température élevée se transforme d'ailleurs partiellement en vapeur. Les cylindres n'aspirent plus l'air chaud de la boîte à fumée, mais de la vapeur humide dont la température ne peut dépasser celle qui correspond à sa pression, et les cylindres et tiroirs fatiguent beaucoup moins. Les cylindres refoulent alors dans la chaudière de la vapeur et non plus de l'air.

Pour être sûr que les conduits d'échappement reçoivent une quantité suffisante de vapeur ou d'eau formant de la vapeur on ouvre le robinet de manœuvre jusqu'à ce qu'un petit excès de vapeur sorte par la cheminée.

8° Marche à régulateur fermé.

a) Phénomènes enregistrés.

Quand on ferme le régulateur avec les machines à tiroirs plans, on met généralement le changement de marche à une position voisine du fond de course pour éviter une résistance excessive. Que le régulateur soit ouvert ou fermé, quand la machine tourne, le tiroir se meut de la même manière, ouvrant et fermant les lumières du côté de la boîte à vapeur et du côté de l'échappement aux mêmes instants, c'est-à-dire quand le piston passe par les mêmes positions.

Pendant le parcours 1-2 (fig. 18) du piston (admission), l'arrière du cylindre communique avec la boîte à vapeur et le piston exerce une aspiration dans cette boîte où la vapeur n'arrive plus, le régulateur étant fermé ; le tiroir se soulevant un peu peut laisser alors pénétrer dans le cylindre les gaz comprimés par la face AV du piston et aussi ceux provenant de l'échappement (machine munie de tiroirs plans).

Pendant le parcours 2-3 (détente) l'arrière du cylindre ne communique ni avec la boîte à vapeur ni avec l'échappement, les gaz qu'il renferme se dilatent par suite du vide résultant de l'accroissement de volume de l'AR cylindre.

Quand le piston arrive en 3, la communication de l'échappement avec cette partie du cylindre s'ouvre (avance à l'échappement) et les gaz chauds de la boîte à fumée y sont aspirés.

Pendant son retour, le piston refoule de 4 à 5 par l'échappement l'air et les gaz, puis, pendant le trajet 5-6, il comprime les gaz qu'il contient encore et enfin ces gaz comprimés s'échappent dans la boîte à vapeur en 6 quand la lumière s'ouvre.

Ces gaz très chauds brûlent les matières de graissage et risquent de détériorer les surfaces polies du cylindre. En outre, d'une part l'aspiration des gaz, d'autre part leur compression, exercent une résistance qui ralentit la machine. Les mêmes effets se produisent sur la face AV. Ils sont d'autant moins énergiques que les périodes de détente et de compression sont plus courtes, ce qui a lieu quand le changement de marche est à fond de course. Pour obvier à ces inconvénients sur les machines à tiroirs cylindriques qui ne peuvent se soulever comme les tiroirs plans, on a prévu des soupapes de rentrée d'air. Une autre solution consiste encore à établir une communication des deux extrémités du cylindre par un gros conduit appelé *by-pass* qui est ouvert lorsque le régulateur est fermé et fermé lorsque le régulateur est ouvert.

b) Marche à régulateur légèrement ouvert dans la descente des pentes.

Pour faciliter la marche à régulateur légèrement ouvert au cours de la descente des pentes afin de parer aux inconvénients d'aspiration des gaz le régulateur des machines 231.500 a été modifié.

Cette modification consista primitivement à agrandir les orifices du petit régulateur (petit tiroir et grand tiroir) à leur partie inférieure suivant un trapèze de 4 m/m. de hauteur pour per-

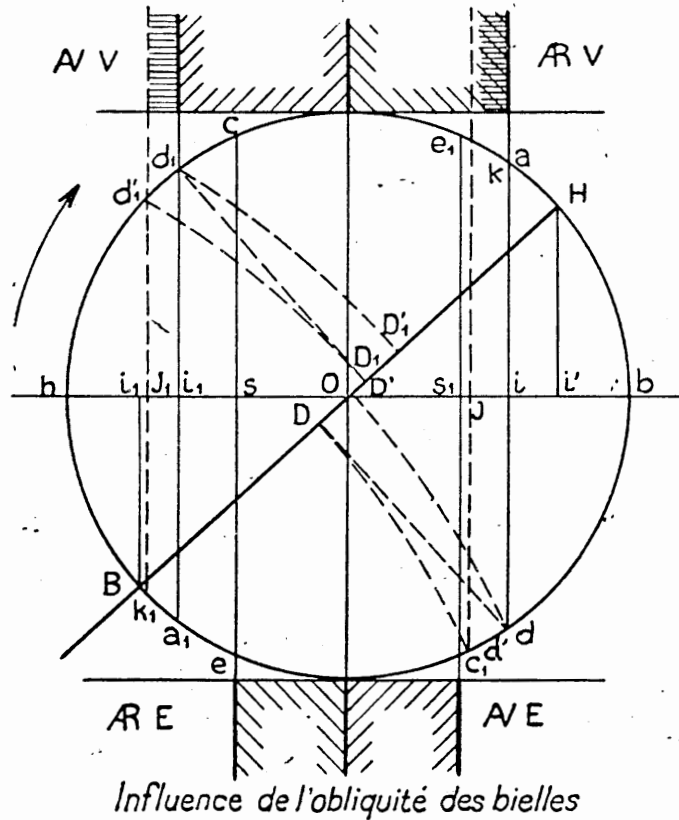


FIG.36

mettre l'ouverture d'une petite section. La commande à l'air du by-pass a dû être inversée en même temps.

Actuellement la modification consiste en un dispositif de cran d'arrêt de la prise de vapeur directe.

Outre l'avantage d'éviter l'aspiration des gaz chauds la marche à régulateur légèrement ouvert a également celui d'amortir les chocs des bielles aux fonds de course dus aux forces d'inertie grâce à la compression de la vapeur restant dans les cylindres.

9° Influence de l'obliquité des bielles.

On néglige l'influence de l'obliquité de la bielle de commande du tiroir sur la distribution, mais il est nécessaire d'examiner celle de la bielle motrice.

Il est évident que l'obliquité de la bielle modifie peu les positions du piston au voisinage des points morts, mais qu'elle les modifie beaucoup plus au voisinage de la mi-course et cela d'autant plus que la bielle est plus courte. L'obliquité de la bielle a donc peu d'influence sur les avances, elle est surtout à considérer pour la fin de l'admission et la fin de l'échappement.

Lorsque le centre d'excentrique est en d (fig. 36), le piston n'est pas en D mais en D' . Le point D' est obtenu en décrivant avec un rayon proportionnel à la longueur de bielle, l'arc dd' dont le centre est pris sur HB prolongé; si la longueur de la bielle est égale à quatre fois la longueur de la manivelle, le rayon des arcs tels que dd' sera pris égal à $4 OB$.

La position d_1 de l'excentrique correspond pour le cylindre avant à la position D'_1 du piston différente de D_1 .

On remarque alors que l'admission pour le cylindre arrière a diminué de DD' et que l'admission pour le cylindre avant a augmenté de $D_1D'_1$.

Pour avoir le même travail sur les deux côtés du piston, nous sommes obligés d'obtenir les mêmes admissions; on modifie alors les recouvrements.

Pour obtenir l'admission voulue HD au cylindre arrière, nous allons diminuer son recouvrement et pour obtenir l'admission égale BD_1 au cylindre avant, nous allons augmenter son recouvrement.

En effet, avec un rayon égal à la longueur de bielle (à l'échelle, $4 OB$ par exemple), on décrit l'arc Dd' dont le centre se trouve sur HB prolongé, par d' on mène la perpendiculaire $d'jk$ à hb . Le nouvel arc d'admission sera Hd' et l'admission sera bien HD ; on a donc diminué le recouvrement de ij .

De la même façon, on remarque que, pour conserver la période d'admission BD_1 pour le cylindre arrière, il faut augmenter le recouvrement de i_1j_1 .

La compression dans le cylindre avant augmente (c_1a_1 devient c_1k_1); pour la réduire, il faut diminuer le recouvrement à l'échappement, l'avance à l'échappement augmente.

La compression dans le cylindre arrière diminue, l'avance à l'échappement augmente un peu, on n'a pas intérêt à faire de la compression, on conserve alors le recouvrement à l'échappement du cylindre arrière.

En résumé l'obliquité des bielles conduit :

- à une augmentation du recouvrement à l'admission du cylindre avant ;
- à une diminution du recouvrement à l'admission du cylindre arrière ;
- à une diminution du recouvrement à l'échappement du cylindre avant ;
- à ne pas modifier le recouvrement à l'échappement du cylindre arrière.

Ces modifications équivalent à peu près à un allongement de la tige de tiroir, et cette particularité retrouve son application dans le réglage des distributeurs des cylindres intérieurs des machines 230.781 à 230.800 à 4 cylindres égaux à simple expansion dont les bielles intérieures sont courtes.

10° Positions relatives du distributeur, du piston et de l'essieu moteur.

Ces positions relatives occupées pendant un tour de roue sont pour un distributeur cylindrique représentées figure 36 bis.

C. — ÉPURE SINUSOÏDALE

Lorsqu'une machine est construite, il est souvent nécessaire de connaître à chaque instant les positions respectives qu'occupent le tiroir et le piston. L'épure sinusoidale en donne le moyen pratique.

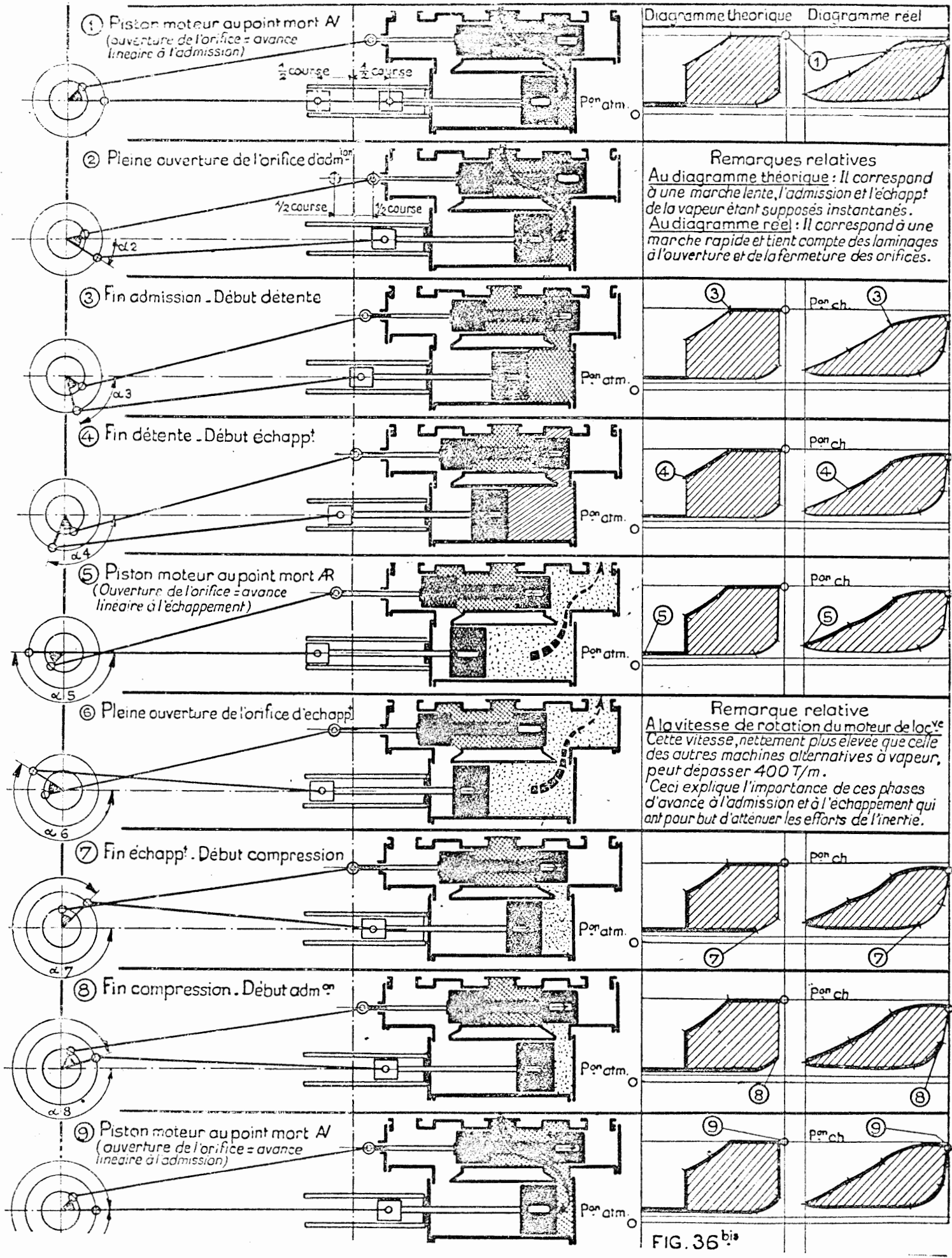


FIG. 36 bis

1° Détermination des éléments nécessaires à la construction de l'épure.

a) Mise en place de l'appareillage.

On enroule sur l'essieu moteur une bande de papier divisée par exemple en 12 parties égales, cette bande graduée de 0 à 11 tourne devant un index fixe. Le zéro de la graduation correspond au point mort arrière de la manivelle B (fig. 37).

On fixe ensuite sur la tige du piston ou sur la crosse et sur la tige du tiroir deux index qui se déplacent en regard de planchettes fixes (fig. 38).

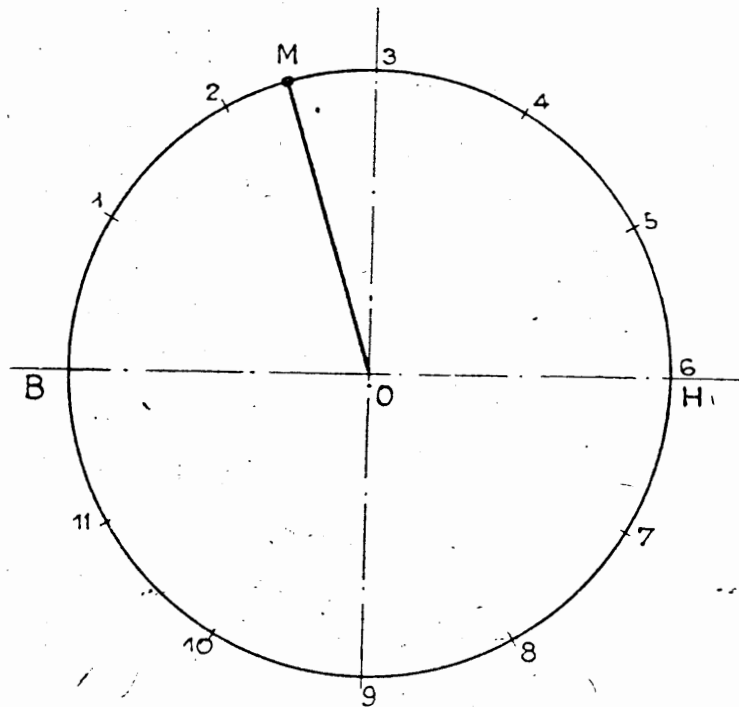


FIG. 37

On pince la machine et on s'arrête à chacun des points de la bande enroulée sur l'essieu, on marque sur les planchettes les positions correspondantes des index.

b) Détermination exacte du point mort.

Si l'on place la manivelle dans le voisinage du point mort, on constate qu'on peut faire tourner l'arbre d'un angle appréciable sans obtenir un mouvement visible de la crosse du piston ; il est donc difficile de trouver le point mort en cherchant simplement à mettre la bielle dans le prolongement de la manivelle.

Voici comment on procède pour trouver la position exacte de ce point :

On fait tourner la machine de façon que la bielle et la manivelle fassent entre elles, un angle voisin de 90 degrés, on marque la position de la crosse de piston *a*, ainsi qu'un point *b* du bandage de l'essieu moteur situé en regard d'un repère fixe R (fig. 39), on amène ensuite les organes dans une position symétrique qui est obtenue lorsque la crosse de piston est revenue au point *a*, on

marque le point b' situé en regard de R ; on détermine le point c milieu de bb' , on pince la machine de façon que c coïncide avec R , la manivelle est alors à son point mort.

2° Tracé de l'épure sinusoïdale.

On porte sur une ligne horizontale ox une longueur quelconque que l'on divise en autant

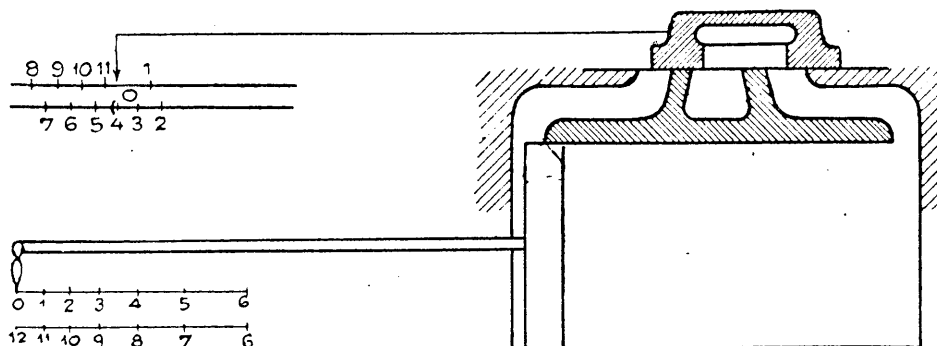


FIG 38

de parties égales qu'il y a de divisions sur le papier enroulé sur l'essieu moteur, par exemple 12. La longueur totale représente 360° , chaque division représente donc $\frac{360}{12}$ ou 30° (fig. 40).

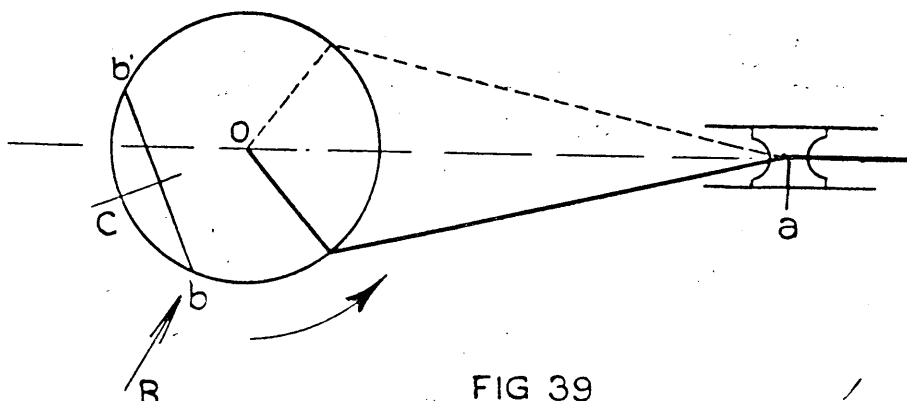


FIG 39

On porte sur les verticales menées par les points 0, 1, 2... des quantités proportionnelles aux chemins parcourus par le piston à partir de son point mort arrière, ces distances sont fournies par les divisions de la planchette placée en regard de la crosse de piston. En unissant les extrémités de ces verticales, on obtient la loi de mouvement du piston.

La loi de mouvement du tiroir s'obtient d'une manière analogue en utilisant les mêmes divisions de la ligne ox .

Les verticales de la courbe du tiroir sont portées au-dessus et au-dessous de la ligne mi-course yy , menée parallèlement à ox à une distance quelconque de cette droite.

On porte les courses du tiroir en vraie grandeur pour avoir les dimensions réelles des recouvrements, des avances linéaires et des ouvertures des orifices.

Soit M , une position du piston ou de la manivelle à un instant quelconque, ce point est situé sur la courbe du piston. Le point correspondant de la position du tiroir est en m , à l'intersection de la courbe du tiroir et de la verticale PP' .

— Position de la manivelle.

La manivelle a parcouru depuis son point mort arrière un angle α tel que :

$$\frac{\alpha}{OP} = \frac{360}{OH}$$

— Position et sens de marche du piston.

Le piston marche de O vers B et il a parcouru à partir son point mort arrière la fraction de course :

$$\frac{PM}{PP'}$$

— Position et sens de marche du tiroir ;

Le tiroir marche de b vers h , il est en avant de sa position moyenne et à la distance mt de cette position.

L'orifice AR . V . est ouvert.

La quantité dont les orifices sont ouverts, ou recouverts est donnée par la distance qui sépare le point m des droites qui limitent les recouvrements correspondants.

— Position du centre d'excentrique.

Le rayon d'excentrique a dépassé son point mort avant b d'un angle proportionnel à la distance bz .

— Valeur de l'angle de calage.

On détermine les points morts h et b de l'excentrique, l'angle de calage est donné par la distance horizontale entre h - H ou entre b - B .

— Phases de la distribution.

On porte les recouvrements de part et d'autre de la ligne mi-course du tiroir, dans le même ordre que pour l'épure circulaire. Par les points obtenus, on mène des parallèles à la ligne mi-course, ces droites coupent la courbe du tiroir en des points qui limitent les phases de la distribution.

Pour l'orifice arrière, l'admission commence en a et se termine en d , l'échappement commence en e et se termine en c .

Pour le cylindre arrière, on a donc les phases suivantes :

	Tiroir	Piston
Avance à l'admission.....	aO'	AO
Admission	$O'bd$	oD
Détente	de	DE
Avance à l'échappement.....	$e6'$	EB
Echappement	$6'hc$	BC
Compression	ca	CA

D. — ÉPURE ÉLLIPTIQUE OU DE "FOVEAU"

On l'obtient en portant verticalement les courses du tiroir et horizontalement les courses du piston.

Les indications fournies par les deux planchettes dans le cas de l'épure sinusoïdale peuvent donc suffire, mais en général on trace cette épure plus facilement à l'aide d'un appareil spécial.

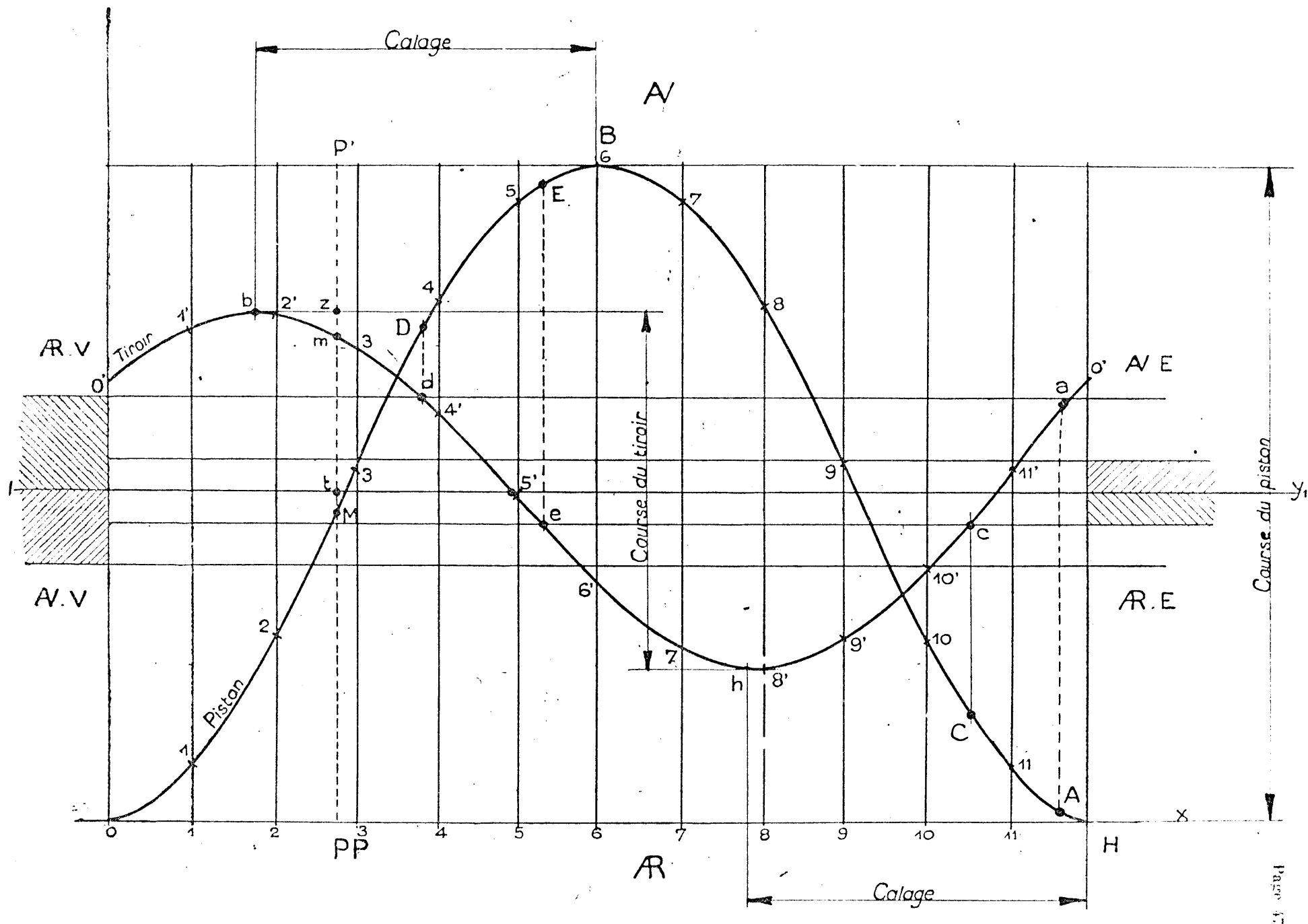


FIG. 40

par le tiroir porte un crayon T qui trace la courbe sur le papier. En examinant les figures 41 et 42, cette dernière représentant la position du tiroir au moment où l'orifice d'admission du cylindre arrière vient d'être fermé (mouvement du tiroir dans le sens de la flèche) ou va s'ouvrir (mouvement du tiroir dans le sens contraire) les arêtes ar. v. et AR. V. coïncident, on voit que la hauteur du crayon pour cette position du tiroir est indépendante de la position du changement de marche et que si à ce moment on fait avancer la planchette A, en tirant sur le fil relié au piston, le crayon T trace un trait S''T'' qui coupera la courbe en deux points correspondants, l'un au commencement de l'avance à l'admission a, l'autre à la fin de l'admission d. Toute courbe tracée à un cran de marche quelconque coupera également cette ligne S''T'' prolongée en deux points correspondants, l'un au commencement et l'autre à la fin de l'admission.

De même lorsque l'arête intérieure de la bande du tiroir *ar. e* (fig. 43) viendra coïncider avec l'arête *AR. E.* de la table nous aurons la position du tiroir et du stylet correspondant au commencement ou à la fin de l'échappement au cylindre arrière et en faisant avancer la planchette horizontalement comme ci-dessus, le crayon tracera un trait *S''T''* parallèle à *S'''T'''* distant de celui-ci d'une longueur égale à la course du tiroir passant de la figure 42 à celle de la figure 43. Cette distance est égale à la largeur de la bande du tiroir diminuée de celle de l'orifice, c'est-à-dire à la somme des recouvrements à l'admission et à l'échappement (ou à la différence du recouvrement à l'admission et du découvrement à l'échappement dans le cas des tiroirs ayant du découvrement à l'échappement). Ce trait *S''T''* coupera toutes les courbes enregistrées en deux points correspondants, l'un au commencement *e* et l'autre à la fin de l'échappement *c* du cylindre arrière.

Lorsque l'arête *ar. e* (fig. 44) viendra coïncider avec l'arête *AV. E.* de la glace, nous aurons la position du tiroir et du crayon correspondant au commencement *c₁* ou à la fin de l'échappement *c₁* du cylindre avant, et en tirant sur le fil relié à la planchette, comme ci-dessus, le crayon tracera un trait *S'T'* parallèle à *S'''T'''*, qui sera distant de celui-ci d'une longueur égale à la course du tiroir passant de la position figure 43 à celle de la figure 44, c'est-à-dire égale à la somme des deux recouvrements à l'échappement (ou des deux découvirements). Ce trait *S'T'* coupera toutes les courbes enregistrées en deux points correspondants l'un au commencement *c₁*, l'autre à la fin de l'échappement *c₁* du cylindre avant.

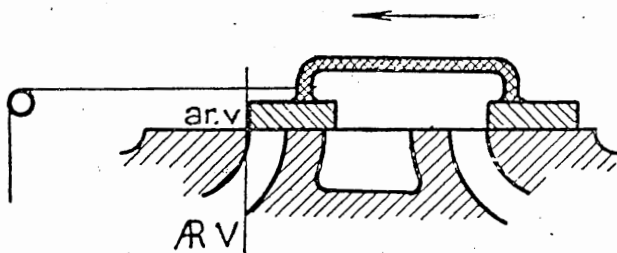


FIG. 42

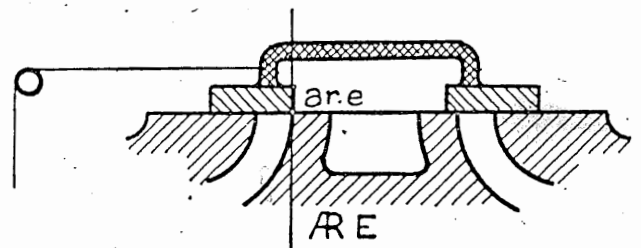


FIG. 43

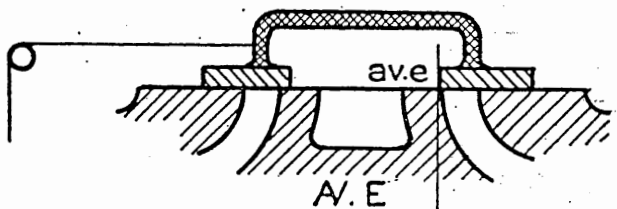


FIG. 44

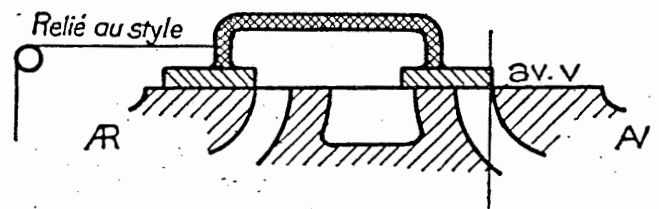


FIG. 45

Enfin, lorsque l'arête *av.v* du tiroir viendra coïncider avec l'arête de l'orifice *AV. V.* de la table (fig. 45), nous aurons la position du tiroir et du crayon correspondant au commencement *a₁* ou à la fin de l'admission *d₁* du cylindre avant et en tirant sur le fil relié à la planchette comme ci-dessus, le crayon tracera un trait *ST* parallèle à *S'T'* qui sera distant de celle-ci d'une longueur égale à la course du tiroir passant de la position de la figure 44 à celle de la figure 45, soit la somme du recouvrement à l'admission et du recouvrement à l'échappement du cylindre avant (ou différence du recouvrement à l'admission et du découvrement à l'échappement). Ce trait *ST* coupera toutes les courbes enregistrées en deux points correspondant l'un au commencement *a₁* et l'autre à la fin de l'admission *d₁* pour le cylindre avant. Nous aurons donc quatre traits placés sur la planchette, les deux premiers *ST*, *S'T'* se rapportant au cylindre avant et les deux autres *S''T''*, *S'''T'''* au cylindre arrière.

Les deux traits extrêmes *ST* et *S'''T'''* sont à une distance égale à la course du tiroir passant de la position de la figure 42 à la position de la figure 45, c'est-à-dire à la somme des recouvrements à l'admission.

S'il n'y a ni découvements, ni recouvrements à l'échappement les deux traits *S'T'* et *S''T''* coïncident en un seul situé à égale distance des deux traits extrêmes *ST* et *S'''T'''*, c'est-à-dire dans l'axe des courbes.

S'il y a un découvrement à l'échappement, les deux traits *S'T'* et *S''T''* d'échappement sont inversés dans la position de la figure 46.

S'il y a un recouvrement à l'échappement (cas de la fig. 46) *S'T'* est au-dessus de l'axe de la courbe et *S''T''* au-dessous.

Il faut bien retenir cette particularité, pour ne pas commettre d'erreur, dans la lecture des phrases de la distribution sur les courbes.

Pour les locomotives on remplace généralement la planchette *A* par un cylindre monté sur un plateau circulaire à gorge, qui reçoit son mouvement de la crosse de piston par un fil parallèle à cette tige. Un ressort placé

sous le plateau assure sa rotation quand la crosse de piston se rapproche de l'appareil (fig. 47). Le diamètre D du plateau, à fond de gorge, est calculé pour que la longueur de sa circonférence soit légèrement supérieure aux plus grandes courses de pistons moteurs des locomotives. Le diamètre d du tambour enregistreur doit donner un diagramme d'une longueur suffisante, pour les grandes courses on prend généralement : $d = \frac{220 \text{ à } 230}{3,14}$

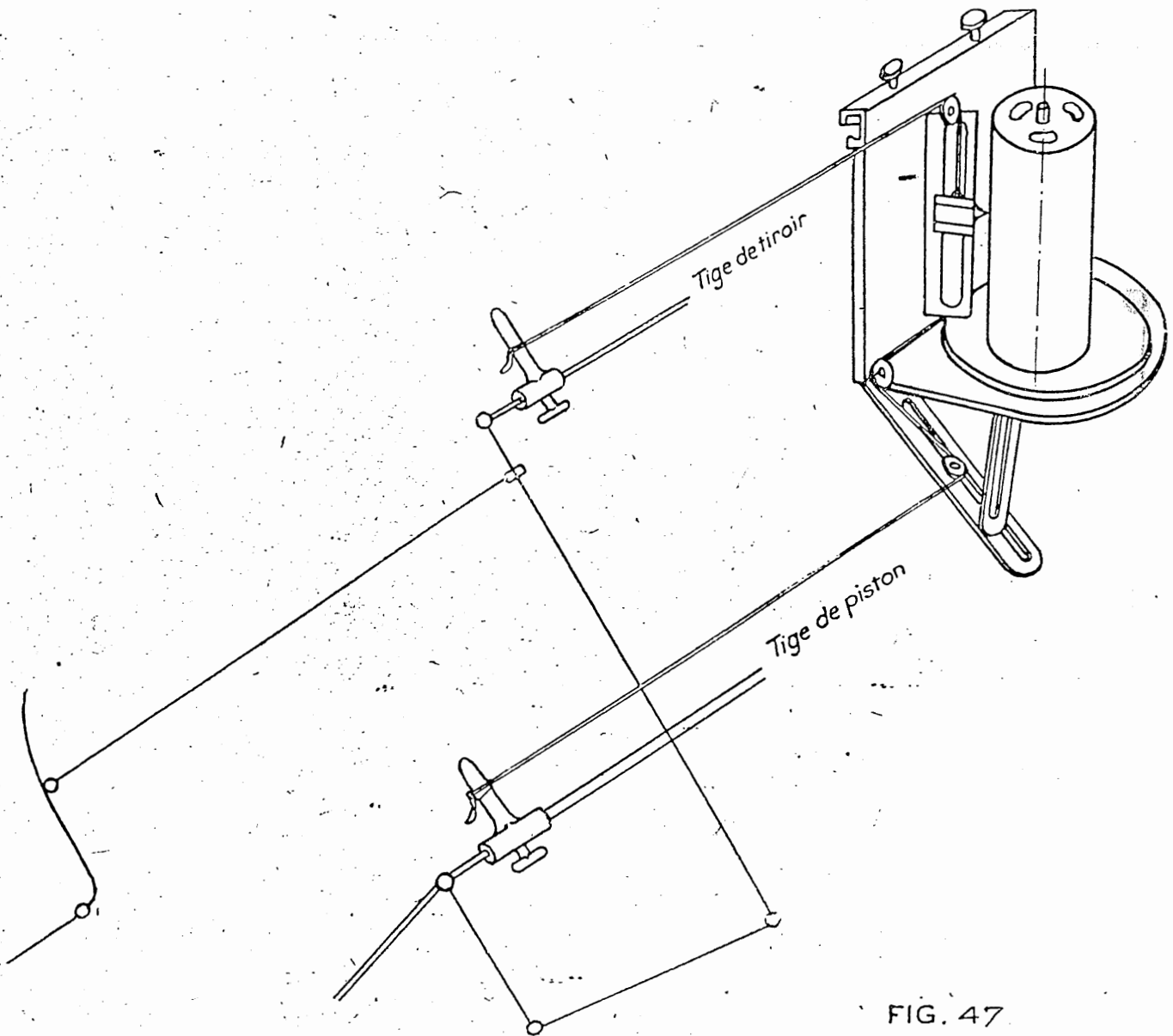


FIG. 47

$$\text{on a : } \frac{D}{d} = \frac{\text{course du piston}}{\text{longueur du diagramme}} \text{ et :}$$

$$\text{longueur du diagramme} = \frac{\text{course} \times d}{D}$$

La course est donc réduite sur le diagramme dans le rapport $\frac{d}{D}$. Si elle mesure sur le diagramme 200 m/m, 2 m/m représentent 1/100 de la course.

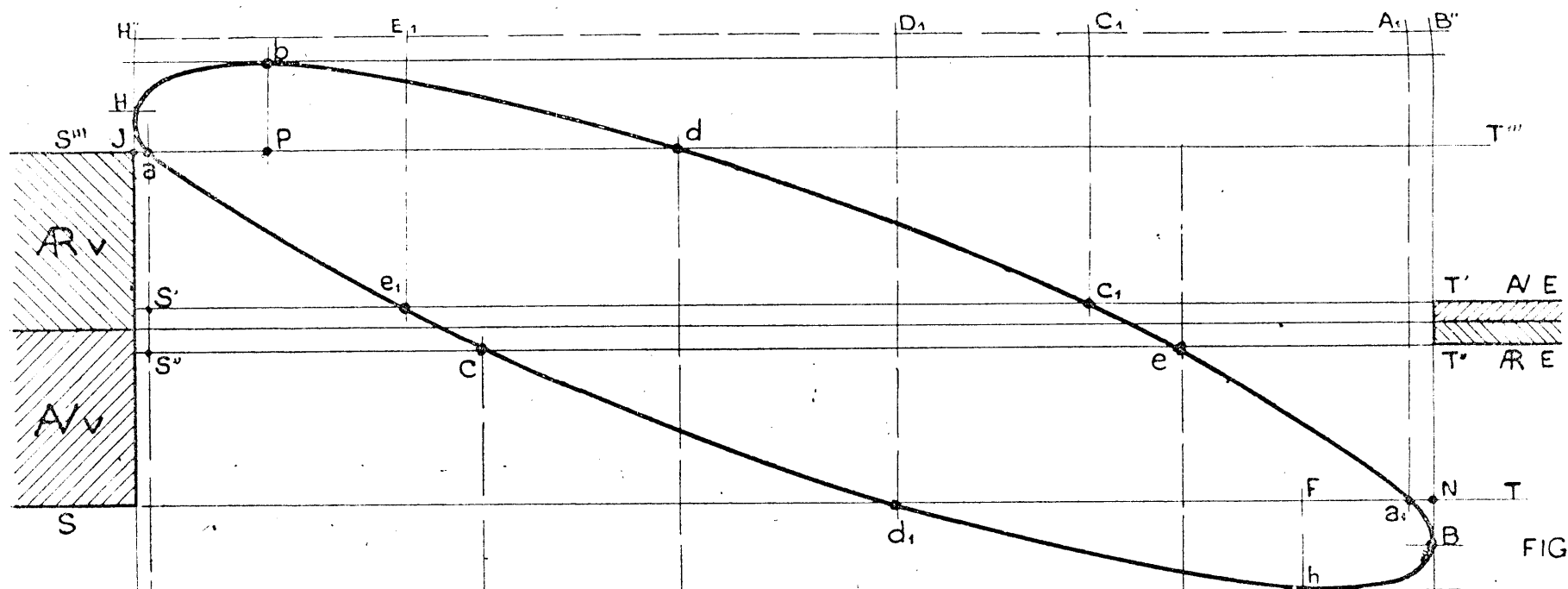


FIG. 46

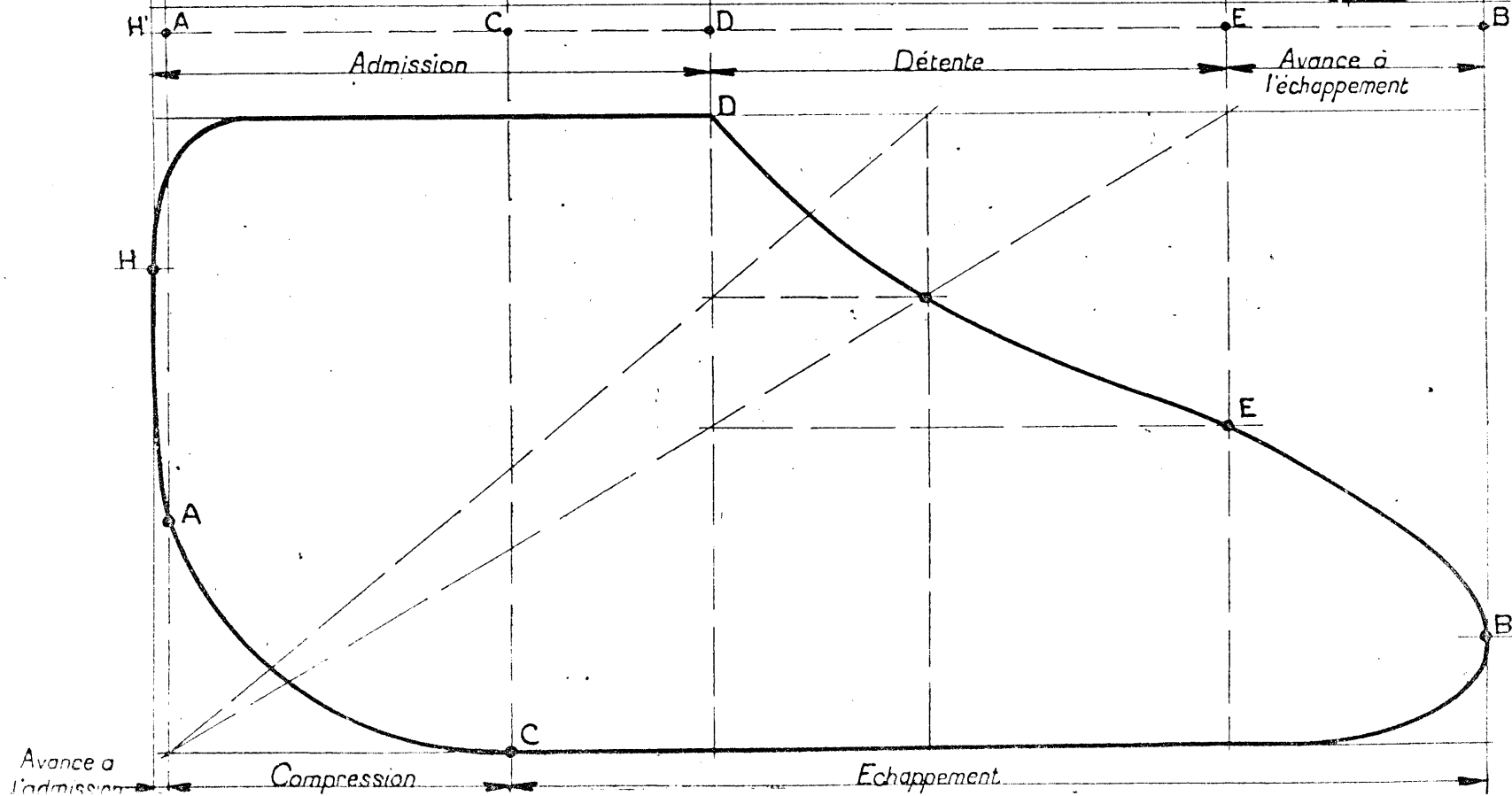


FIG. 48

Le crayon se déplace verticalement, comme dans le cas de l'appareil à planchette, à l'aide d'un fil parallèle à la tige de tiroir et lié à cette tige. Les déplacements du tiroir sont de ce fait enregistrés en grandeur réelle.

b) Montage de l'appareil et enregistrement.

On fixe l'appareil sur la cornière supportant le plateau à un endroit où il ne gêne pas l'accès de la boîte à vapeur du cylindre et aussi près que possible des glissières. La crosse du piston est reliée au plateau à gorge supportant le cylindre enregistreur par un fil passant sur des poulies de renvoi de manière que la partie de ce fil comprise entre le plateau à gorge et la première poulie de renvoi soit dans le plan du plateau et que la partie de ce même fil comprise entre la dernière poulie de renvoi et l'attache sur le piston soit parallèle à l'axe de celui-ci.

De même, le porte crayon est relié à la tige de commande du tiroir de manière que les extrémités du fil soient l'une parallèle à l'axe de cylindre enregistreur et l'autre à la tige de commande du tiroir à laquelle elle est liée par un point fixe. On s'assure que la hauteur du crayon a été bien réglée pour que les déplacements maxima du tiroir soient enregistrés sur la feuille, la marche étant placée à fond de course, ceci en faisant faire un tour de roue à la machine, qu'on arrête, la coulisse dans sa position la plus inclinée. A l'aide de la vis de changement de marche, on amène ensuite successivement les orifices d'admission du tiroir et des lumières en concordance, le crayon étant en contact avec le papier. En tirant sur le fil du piston, on trace les deux traits horizontaux d'admission ST et S''T''.

Si le tiroir est à coquille, on tracera plus tard les traits d'échappement S'T' et S''T'', mais si le distributeur est cylindrique, on les trace de suite en amenant les orifices d'échappement du distributeur et de la chemise en concordance, toujours à l'aide du fil du piston. On place ensuite l'index du changement de marche, au cran 4 marche avant par exemple. On fait effectuer un tour complet des roues accouplées de la machine et on obtient la courbe de la figure 46, sur laquelle :

SS''' = la somme des recouvrements à l'admission ;

S''S' = la somme des recouvrements à l'échappement.

2° Lecture de l'épure.

S'T' et S''T'' non tracés dans le cas d'un tiroir plan, la feuille en place sur l'appareil, sont tracés après l'enlèvement de cette feuille. On élève les perpendiculaires H'H'' et B'B'' aux quatre droites parallèles (TS T'S', T''S'', T'''S'''), tangentes aux extrémités de la courbe en H et B. La distance de ces deux droites est la course du piston réduite dans le rapport des diamètres du plateau et du cylindre enregistreur.

Pendant un tour complet de la roue le piston parcourt le chemin compris entre H'H'' et B'B'', puis entre B'B'' et H'H'' et le tiroir parcourt le chemin compris entre b et h puis entre h et b . Nous avons vu que la ligne S'''T''' coupait les courbes en deux points l'un au commencement a et l'autre à la fin de l'admission d du cylindre arrière, AH' représente le chemin parcouru par le piston pendant l'avance à l'admission et H'D le chemin parcouru pendant l'admission au cylindre arrière.

De même la ligne S'T' limite le commencement et la fin de l'échappement au cylindre arrière, aux points E et C, le piston parcourt le chemin EB' pendant l'avance à l'échappement et B'C pendant l'échappement. La partie de la courbe comprise entre C et A a été tracée pendant la compression et celle comprise entre D et E pendant la détente. CA représente donc le chemin parcouru par le piston pendant la compression et DE celui parcouru pendant la détente.

Lorsque le piston est au fond de course arrière en H (ligne H'H''), le tiroir découvre l'orifice d'une quantité égale à HJ correspondant à l'avance linéaire ; le mouvement continuant, il découvre davantage cet orifice et Pb représente l'ouverture maximum.

La ligne ST coupe la courbe en deux points a_1 et d_1 correspondant l'un au commencement a_1 et l'autre à la fin de l'admission d_1 du cylindre avant. A₁B'' représente le chemin parcouru par le piston pendant l'avance à l'admission et B'D₁ celui parcouru pendant l'admission.

De même S'T' coupe la courbe en deux points e_1 et c_1 correspondant l'un au commencement e_1 et l'autre à la fin de l'échappement c_1 du cylindre avant. E₁H'' représente le chemin parcouru pendant l'avance à l'échappement et H'C₁ celui parcouru pendant l'échappement. La partie de la courbe comprise entre d_1 et e_1 a été tracée pendant la détente, le chemin parcouru par le piston pendant cette période est représenté par D₁E₁. La partie de la courbe comprise entre c_1 et a_1 a été tracée pendant la compression, le chemin parcouru par le piston correspondant à cette période est représenté par C₁A₁. De même que pour le cylindre arrière, les courses du tiroir sont représentées par NB avance linéaire. Fh ouverture maximum.

En résumé, les lignes T'''S''' et T''S'' se rapportent au cylindre arrière ; la partie de la courbe située au-dessus de S'''T''' a été tracée pendant que l'orifice était en communication avec la boîte à vapeur : avance à l'admission et admission. Les deux portions de la courbe, comprises entre T'''S''' et T''S'' ont été tracées pendant que l'orifice était fermé : détente à l'aller, compression au retour. La partie de la courbe située au-dessous de S'T' a été tracée pendant que l'orifice était en communication avec l'échappement : avance échappement et échappement.

Les lignes ST' et ST se rapportent au cylindre avant et partagent la courbe comme ci-dessus.

Pour relever pratiquement les épures de distribution à tous les crans de marche, il suffit de tracer ST, S'T'S''T'', S''T'', puis de mettre successivement le changement de marche à chacun des crans et faire tourner la roue

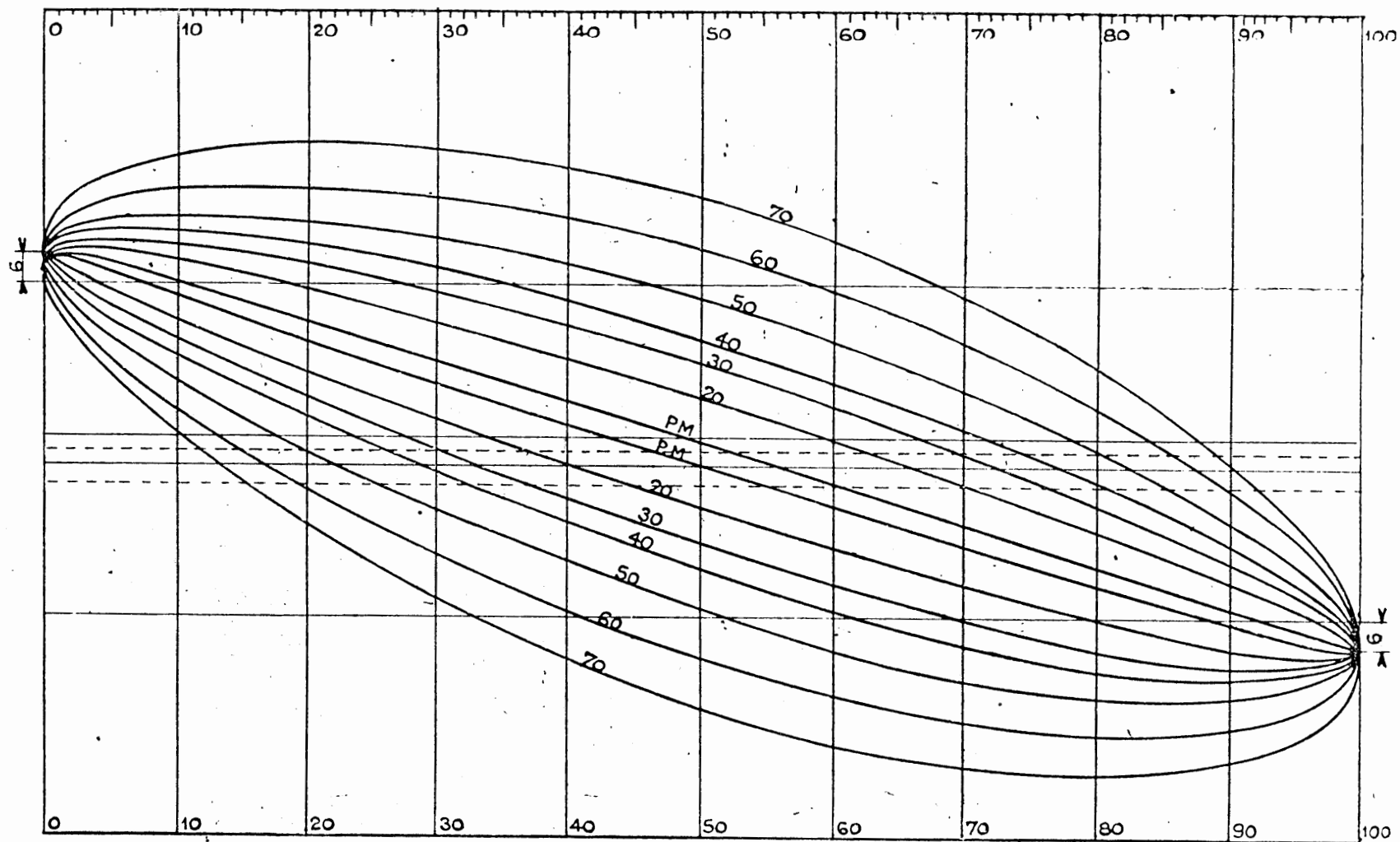


FIG. 49

motrice d'un tour complet. On obtient ainsi le faisceau de courbes de la figure 49. La longueur du diagramme qui représente la course du piston est divisée en 100 parties égales comme il est indiqué ce qui aide à déterminer rapidement la valeur en centièmes de course de chacune des phases de la distribution. Les courses de tiroir étant enregistrées à leur grandeur réelle se mesurent en millimètres directement sur le papier.

En résumé, les phases de la distribution sont les suivantes :

<i>Pour le cylindre arrière :</i>		
	Tiroir	Piston
Avance à l'admission	<i>aH</i>	<i>AH'</i>
Admission	<i>Hbd</i>	<i>H'D</i>
Détente	<i>de</i>	<i>DE</i>
Avance à l'échappement	<i>eB</i>	<i>EB'</i>
Echappement	<i>Bhc</i>	<i>B'C</i>
Compression	<i>ca</i>	<i>CA</i>

<i>Pour le cylindre avant :</i>		
Avance à l'admission	<i>a₁B</i>	<i>A₁B''</i>
Admission	<i>Bhd₁</i>	<i>B''D₁</i>
Détente	<i>d₁e₁</i>	<i>D₁E₁</i>
Avance à l'échappement	<i>e₁H</i>	<i>E₁H''</i>
Echappement	<i>Hbc₁</i>	<i>H''C₁</i>
Compression	<i>c₁a₁</i>	<i>C₁A₁</i>
	<i>Cyl. AV</i>	<i>Cyl. AB</i>
Course totale = 200 m/m		
Avance linéaire	<i>HJ</i>	<i>BN</i>
Ouverture maxima	<i>Pb</i>	<i>Fh</i>

Si on construit, avec l'épure elliptique le diagramme du cylindre arrière, on obtient (fig. 48) les phases suivantes :

Avance à l'admission	<i>AH</i>
Admission	<i>HD</i>
Détente	<i>DE</i>
Avance à l'échappement	<i>EB</i>
Echappement	<i>BC</i>
Compression	<i>CA</i>

E. — CONSTRUCTION D'UN TIROIR DONNANT UNE RÉGULATION DÉTERMINÉE

C'est le second problème qu'on est amené à résoudre avec une distribution.

Les données sont, par exemple, les suivantes :

- avance à l'admission : 1 % ;
- admission : 75 % ;
- avance à l'échappement : 3,5 % ;
- longueur maximum d'ouverture des orifices : 32 m/m.

Nous nous proposons de déterminer :

- le calage de l'excentrique ;
- la course du tiroir ;
- les dimensions du tiroir ;
- la position des orifices sur la table.

L'épure circulaire étudiée précédemment permet de déterminer tous ces éléments.

1^{er} Recherche de l'angle de calage.

On détermine le calage en fonction de l'arc d'admission sans tenir compte de l'obliquité des bielles.

On trace une circonférence avec un rayon arbitraire R (par exemple 50 m/m), puis on mène les deux diamètres rectangulaires bh, yy_1 (fig. 50).

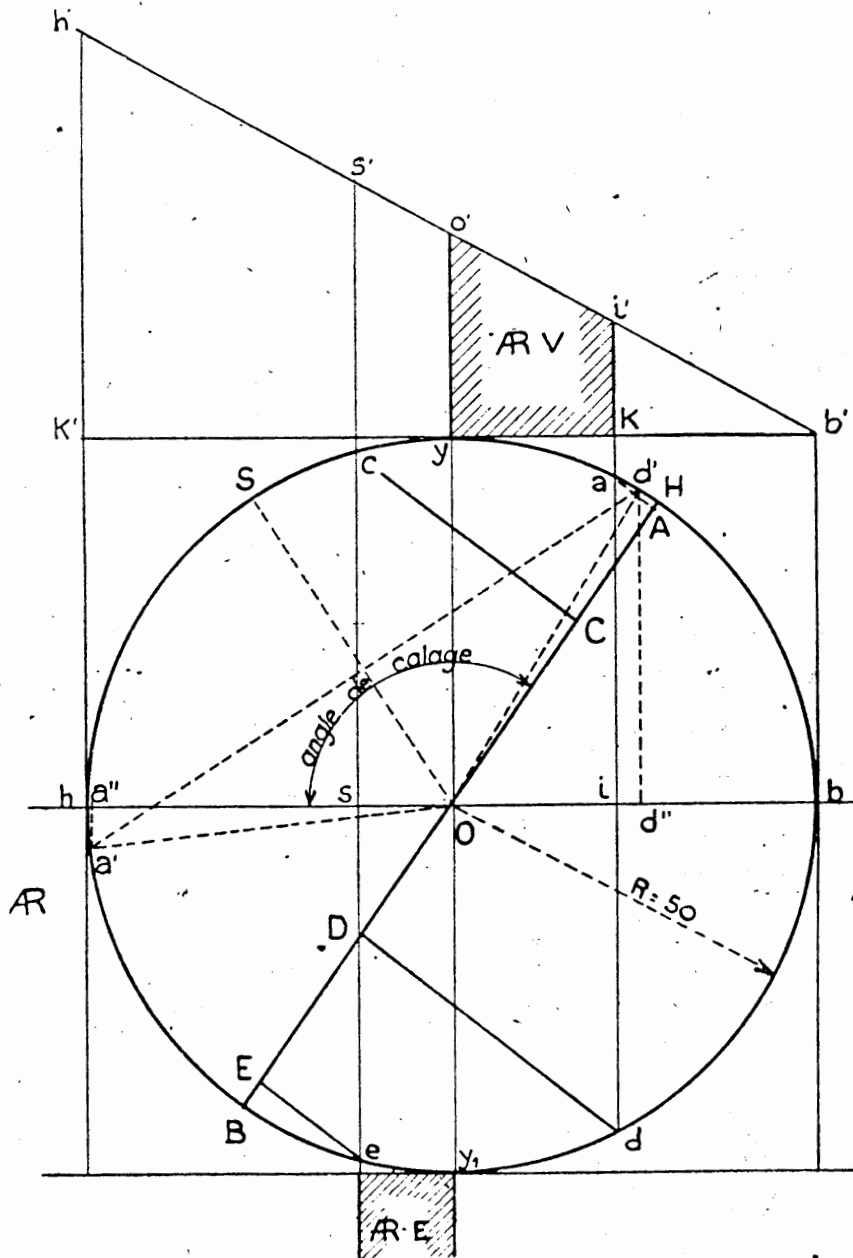


FIG. 50

On trace a'' qui partage bh dans le rapport correspondant à l'avance à l'admission (par exemple 1 %), on mène la verticale $a'' a'$ qui coupe la circonférence en a' .

L'angle *hoa'* représente l'avance à l'admission ; si on connaît cet angle en degrés, on le trace immédiatement.

Puis on porte hd'' de telle façon que $\frac{hd''}{hb}$ soit le rapport correspondant à l'admission (par exemple 75 %), on élève la perpendiculaire $d''d'$ à hb qui coupe la circonférence en d' .

L'arc $a'd'$ représente l'admission totale. Soit S, le milieu de cet arc ; on porte de part et d'autre du point b : $ba = bd = a'S = Sd'$, par construction la droite ad est perpendiculaire à hb .

Puis, dans le sens ab on porte $aH = a'h =$ avance à l'admission. On a réalisé l'épure circulaire pour l'admission du cylindre arrière. En effet, on a bien l'arc $ad =$ l'arc $a'd'$ d'admission totale et l'arc $aH =$ l'arc $a'h$ d'avance à l'admission.

On mène le diamètre HB, l'angle de calage est hOH .

Dans le cas de la figure, il est de 122 degrés.

2° Recherche des phases.

Sur HB à partir de B, on porte l'avance à l'échappement BE, on élève la perpendiculaire Ec

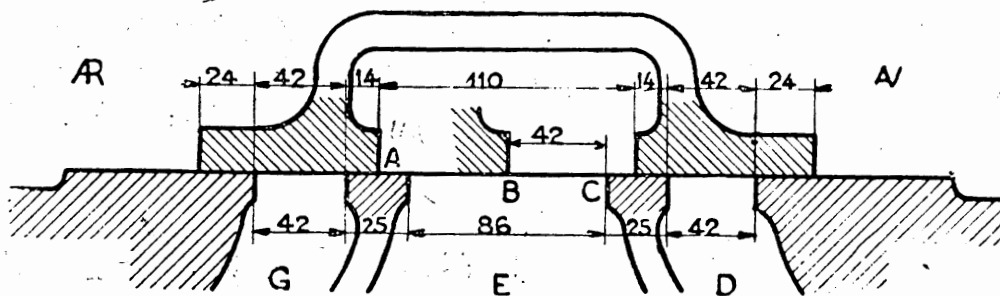


FIG. 51

à HB qui coupe la circonférence en e, l'arc eB représente l'avance à l'échappement, on mène alors par e, la perpendiculaire esc à hb et on a ainsi l'épure circulaire complète pour le cylindre arrière.

L'échappement est représenté dans le cas de la figure 50 par BC (83 %) et la compression par CA (16 %) on a donc :

Admission	HD (75 %)
Détente	DE (21,5 %)
Avance à l'échappement	EB (3,5 %)
Echappement	BC (83 %)
Compression	CA (16 %)
Avance à l'admission	AH (1 %)

3° Recherche de la course du tiroir et des recouvrements.

Cette épure circulaire représente à une certaine échelle la distribution donnée. Nous connaissons la dimension réelle de l'ouverture maximum de l'orifice d'admission (32 m/m) qui, dans le cas de la figure 50 est représenté par bi (27 m/m). La course du tiroir est hb (100 m/m).

Nous aurons donc la course réelle en multipliant hb par le rapport $\frac{32}{27}$.

On peut opérer de même pour le recouvrement à l'admission oi (23 m/m.), le recouvrement à l'échappement os (12 m/m.) et l'ouverture de l'orifice d'échappement sh (38 m/m.).

On peut encore employer la construction graphique suivante :

On mène la verticale hh' qui coupe l'horizontale passant par y en k' ; de b' comme centre on décrit un arc avec 32 m/m de rayon on joint $b'i'$ (i' intersection de cet arc avec la verticale ad). Il est bien évident qu'on a :

$$\frac{b'k}{b'i} = \frac{bi}{b'i} = \frac{27}{32}$$

Les deux droites $b'h'$ et $b'k'$ sont donc partagées par les verticales ad , yy_1 , ec , hh' dans le rapport $\frac{37}{32}$

On mesure $h'h'$, $b'i'$, $i'o'$, $o's'$, $s'h'$, et on a immédiatement :

Course de l'excentrique : 112 m/m

Rayon de l'excentrique : 56 m/m

Ouverture de l'orifice d'admission : 32 m/m

Recouvrement à l'admission : 24 m/m

Ouverture de l'orifice d'échappement : 42 m/m

Recouvrement à l'échappement : 14 m/m.

4° Dimensions du tiroir et positions des orifices sur la table.

On peut prendre comme longueur des lumières l'ouverture de l'orifice d'échappement, nous prendrons donc 42 m/m. On trace la lumière G avec la barrette du tiroir placé à mi-course (*fig. 51*).

On place ensuite le tiroir à la position correspondant au point mort avant en déplaçant la barrette de 56 m/m vers l'avant ; on doit avoir une ouverture de l'orifice d'échappement de 42 m/m ; on porte donc $AB = 56$ puis $BC = 42$; en C, on obtient l'une des arêtes de l'orifice d'échappement E. On place ensuite l'orifice D qu'on sépare de E par une bande de métal d'épaisseur suffisante, 26 m/m par exemple.

Il est donc facile de compléter le tracé de l'orifice E et le tracé du tiroir en plaçant la bande arrière du tiroir.

5° Considération sur le choix de la régulation.

1° Afin d'obtenir une plus grande détente, on a progressivement augmenté la largeur des recouvrements à l'admission.

Cette augmentation a l'inconvénient, si l'on conserve d'autre part la même avance à l'admission, de correspondre à un agrandissement correspondant de l'échappement anticipé, ce qui est défavorable au rendement du moteur. On a pu diminuer cette avance, tout en conservant une large détente, grâce à l'emploi de recouvrements à l'échappement.

2° L'augmentation de la largeur d'une bande d'un tiroir, qui améliore la détente pendant une course d'un piston, augmente la compression pendant la course retour : ces deux phases sont corrélatives. Or, si la détente est motrice, la compression est résistante. Le défaut primordial de toutes les distributions à tiroirs réside dans cette dépendance, dont il est impossible de se libérer, qui existe entre les phases de détente et de compression.

Les dimensions des recouvrements sont exactement calculées pour une régulation donnée, en tenant compte de ces observations.

Remarque. — La présence de recouvrements entraîne un accroissement du rayon de l'excentrique, les déplacements que doit prendre le tiroir à partir de sa position moyenne étant plus grands. Le rayon r de l'excentrique est égal en effet à l'ouverture de la lumière d'admission augmentée du recouvrement à l'admission.