

CHAPITRE III

COULISSES

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que les deux excentriques ayant leurs centres H et H' symétriques par rapport à la ligne *hb* des points morts (*fig. 33*), représentaient l'un H, le calage *hoH*, nécessaire à la marche Avant (sens des aiguilles d'une montre), l'autre H', le calage *hoH'*, pour la marche en sens contraire (marche Arrière). Nous avons vu également que les deux excentriques permettent d'obtenir le même travail, parce que le calage *hoH* de l'excentrique H correspond, comme le calage *hoH'* de l'excentrique H', à une même admission.

Par conséquent, avec ce système de distribution, on ne peut admettre dans les cylindres qu'une quantité de vapeur bien déterminée et pour que la locomotive fonctionne dans les deux sens, on doit avoir deux machines distinctes, l'une tournant pour la marche Avant, commandée par l'excentrique H, l'autre pour la marche Arrière, commandée par l'excentrique H', symétrique de H par rapport à *hb*. Mais, dans la pratique, il y a intérêt à mettre entre les mains du mécanicien un dispositif plus simple qui lui permette :

- de changer le sens de la marche ou d'arrêter sa machine ;
- de faire varier la distribution à son gré suivant le travail demandé à cette machine.

Aussi a-t-on ajouté aux deux excentriques calés symétriquement un organe appelé « coulisse » qui répond aux conditions cherchées.

Les coulisses de Stephenson, de Gooch et d'Allan qui nécessitent l'emploi de deux excentriques ne se rencontrent plus que sur les machines anciennes.

On emploie maintenant presque exclusivement la distribution Walschaerts qui ne nécessite qu'un excentrique.

A. — COULISSES DIVERSES

1^o Coulisse de Stephenson.

Le mécanisme comprend (*fig. 52*) deux excentriques H et H' calés sur l'essieu moteur O, ils commandent la coulisse CC', par les barres d'excentriques HC, H'C'. La coulisse est suspendue au bras IN de l'arbre de relevage par la barre de relevage NF ; elle attaque la tige du tiroir T par le coulisseau B, articulé à l'extrémité de cette tige.

Dans la position de la figure 52 la coulisse est complètement descendue et correspond à l'introduction donnée par l'excentrique H pour la marche avant et par conséquent à l'admission maximum comme nous le verrons ci-après.

a) **Excentrique fictif.**

Démontrons d'abord que le système formé par les deux excentriques H et H' calés symétriquement et par la coulisse CC' correspond à un excentrique fictif G.

Soit OT (fig.53) la droite fixe sur laquelle se meut le tiroir, M une position quelconque de la manivelle motrice OH et OH' les positions correspondantes des excentriques, les barres de ces derniers HC, H'C' étant supposées suffisamment longues pour qu'on puisse négliger leur obliquité, c'est-à-dire pour qu'on ait sensiblement, en projetant les points H, H', C, C', en h, h', c, c' sur OT,

$$hc = HC = h'c' = H'C'$$

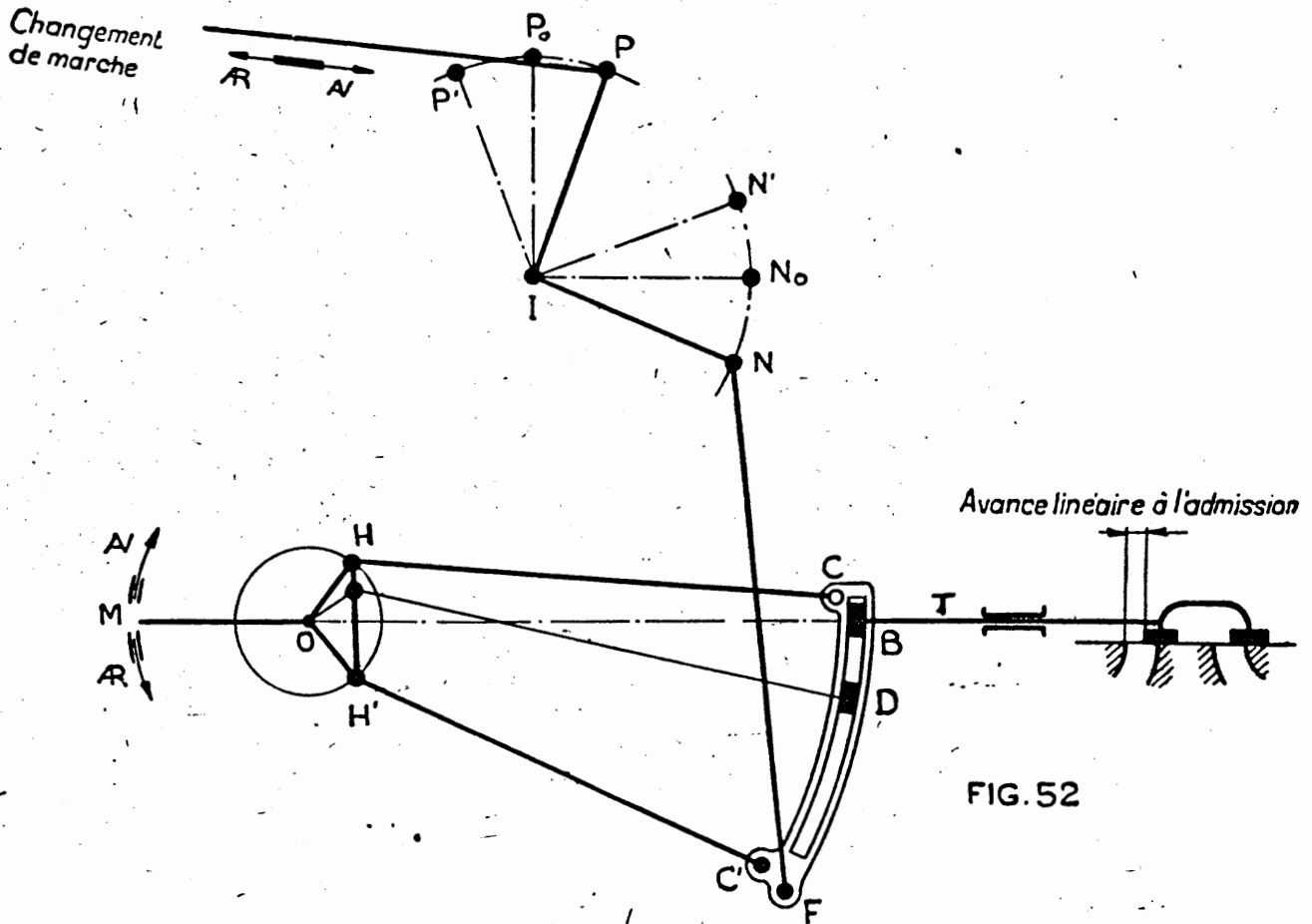


FIG. 52

Le tiroir a le même mouvement que le point B, celui-ci étant à peu près fixe dans la coulisse et BC et BC', ne varient guère.

Le rapport $\frac{BC}{BC'}$ est donc constant, les triangles BCc et BC'c' sont toujours semblables, qu'elles que soient les positions des deux excentriques

$$\text{et } \frac{Bc}{Bc'} = \frac{BC}{BC'} = \text{Constante}$$

Portons BK = hc = h'c', ces deux dernières droites étant les projections de HC et H'C'

Nous aurons par différence Kh' = Bc' et Kh = Bc

$$\text{d'où } \frac{Kh}{Kh'} = \frac{Bc}{Bc'} = \text{Constante}$$

Élevons la perpendiculaire KG à OT qui coupe HH' en G et menons par le point K la parallèle $H_1H'_1$ à HH' les triangles rectangles H_1hK et $H'_1h'K$ sont semblables et nous avons encore

$$\frac{KH_1}{KH'_1} = \frac{Kh}{Kh'} = \text{Constante}$$

Les droites HH' et $H_1H'_1$ étant parallèles, on a :

$$KH_1 = GH \text{ et } KH'_1 = GH'$$

et par conséquent :

$$\frac{GH}{GH'} = \frac{KH_1}{KH'_1} = \frac{Kh}{Kh'} = \frac{BC}{BC'} = \frac{Bc}{Bc'} = \text{Constante}$$

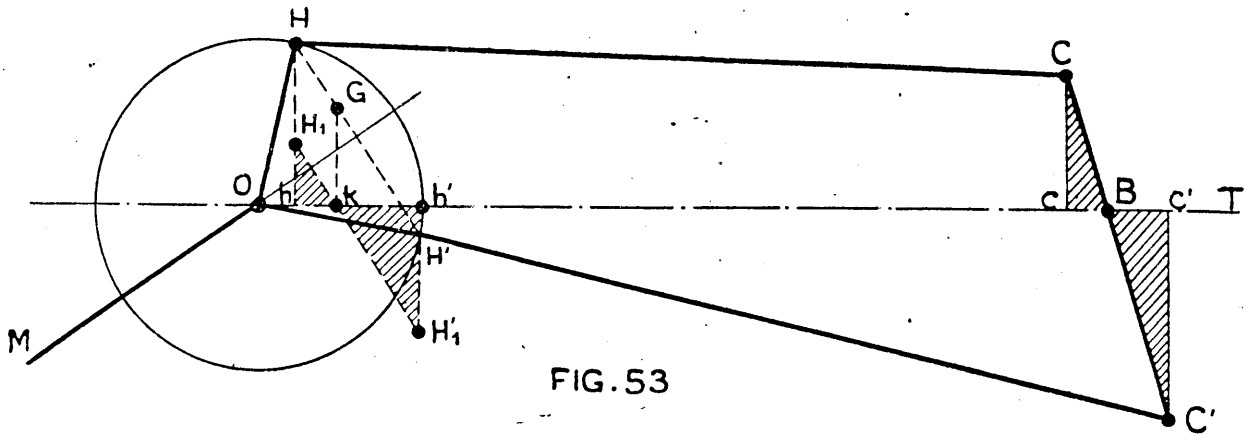


FIG. 53

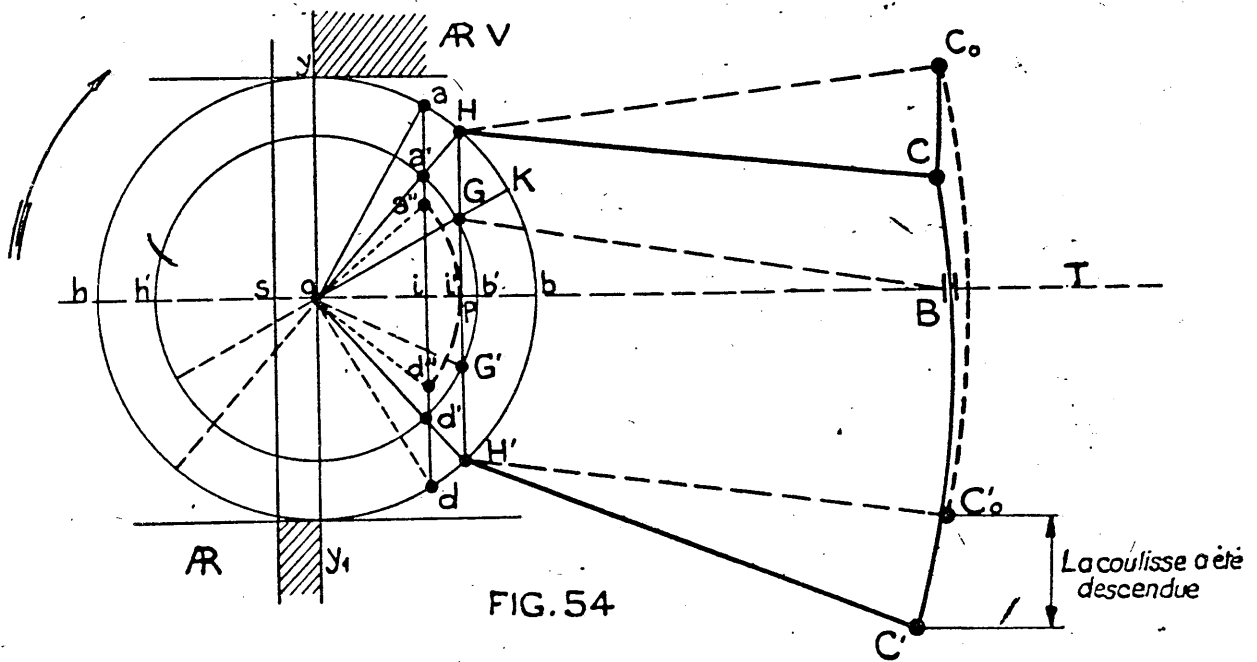


FIG. 54

Les centres d'excentriques H et H' ont une position bien déterminée, donc le point G qui partage la droite HH' dans le rapport $\frac{BC}{BC'}$ constant est bien déterminé sur cette droite.

Par ailleurs BK ayant une grande longueur est sensiblement égal à BG , c'est-à-dire à HC . Le mouvement du point B , et du tiroir, sera donc le même que celui donné par un excentrique, dit fictif, de centre G et de rayon GG attaquant directement le tiroir, le point G partageant HH' comme le point B partage CC' .

Et à chaque position de B sur CC' correspondra un excentrique fictif de calage et de rayon différents.

D) Renversement du sens de marche et variation de la détente.

Ceci étant déterminé, voyons comment on pourra, à l'aide de la coulisse de Stephenson, réaliser la marche avant, l'arrêt et la marche arrière de la machine et comment il sera possible de faire varier le travail.

Plaçons la coulisse dans sa position la plus basse, le point G est approximativement en B, donc, d'après ce que nous venons de démontrer, le point G est confondu avec le point H et c'est l'excentrique H qui conduit le tiroir. Dans la position des figures 52 et 54, le piston est à son fond de course arrière, le tiroir découvrant l'orifice d'admission arrière de l'avance linéaire à l'admission pour la marche avant, le cylindre avant étant au contraire à l'échappement. L'ouverture maximum à l'admission est ib , l'avance à l'admission aH à l'admission Hd .

Si on déplace l'index du changement de marche du fond de course avant vers le fond de course arrière, la coulisse monte, le point C s'élève par rapport au point B.

Prenons le cas de la figure 54. Soit G' le point qui partage HH' dans le même rapport que B partage CC' .

L'angle de calage, qui était hOH , devient hOG et augmente par conséquent de valeur, entraînant des variations de la valeur des différentes phases de la distribution. Les variations de l'admission sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

		Avec l'excentrique H	Avec l'excentrique fictif G	Différence de G à H
Admission totale	angulaire.....	aod	$a'od'$	$- 2aod'$
	linéaire.....	$ib + bi$	$ib' + b'i$	$- 2bb'$
Avance à l'admission (travail résistant)	angulaire.....	aoH	$a'oG$	varie
	linéaire.....	ii'	ii'	reste le même
Admission (travail moteur)	angulaire.....	Hod	God'	$- (HoG + d'od$
	linéaire.....	$i'b + bi$	$i'b' + b'i$	$- 2 bb'$
Période motrice diminuée de période résistante	angulaire.....	HoH'	GoG'	$- 2HoG$
	linéaire.....	$2i'b$	$2i'b'$	$- 2bb'$

L'examen de ce tableau montre bien qu'avec l'excentrique G :

- la course du tiroir diminue ;
- l'avance linéaire à l'admission reste constante ;
- l'admission diminue.

Si nous continuons à déplacer l'index du changement de marche de façon que les bras de l'arbre de changement de marche IP et IN viennent en IP^0 et IN^0 , le point B partageant à ce moment la coulisse CC' en deux parties égales :

- Le point G est i' , qui est le nouveau centre de l'excentrique, l'angle de calage hoG étant devenu hoi' , égal à 180° , puisque ses côtés hO et Oi' sont en ligne droite.
- L'index de changement de marche continuant à se déplacer vers l'Arrière, les bras IP et IN de l'arbre de changement de marche s'approcheront de IP' et IN' . C' s'approchera du point B et l'angle de calage HoG' sera plus grand que 180° .
- Enfin C' viendra en B et le tiroir sera conduit par l'excentrique H'.

Voyons quelles seront les différentes phases de l'admission le mouvement de la machine se faisant toujours dans le même sens (celui des aiguilles d'une montre) quand le tiroir est conduit par les excentriques fictifs : $i' - G'$ et H' (tableau ci-après).

		Avec l'excentrique i'	Avec l'excentrique G'	Avec l'excentrique H'
Admission totale	angulaire.....	$a''od''$	$a'od'$	aod
	linéaire.....	$2ii'$	$2ib'$	$2ib$
Avance à l'admission (travail résistant)	angulaire.....	$a''oi''$	$a'oG'$	aoH'
	linéaire.....	ii'	$ib' + b'i'$	$bi + bi'$
Admission (travail moteur)	angulaire.....	$i'od''$	$G'od'$	$H'od$
	linéaire.....	ii'	ii'	ii'
Période motrice diminuée de période résistante	angulaire.....	$i'od'' - a''oi'' = 0$	$G'od' - a'oG' = - G'OG'$	$HoG - aoH' = - HoH'$
	linéaire.....	$ii' - ii' = 0$	$ii' - (ib' + b'i') = - 2i'b'$	$ii' - (ib + bi') = - 2i'b$
Travail.....		nul	résistant	résistant

Par conséquent, dès que la distribution est commandée par la moitié inférieure de la coulisse, la machine s'arrête et, si cet arrêt se fait dans une position favorable pour le démarrage, elle repart en sens contraire.

Dans le sens contraire les excentriques G' et H' donnent un travail moteur égal respectivement à celui donné par G et H dans l'autre sens de marche.

En résumé la quantité de vapeur admise dans le cylindre augmente quand l'index du changement de marche se déplace du zéro vers le fond de course correspondant au sens de marche adopté ; au zéro de la réglette le travail

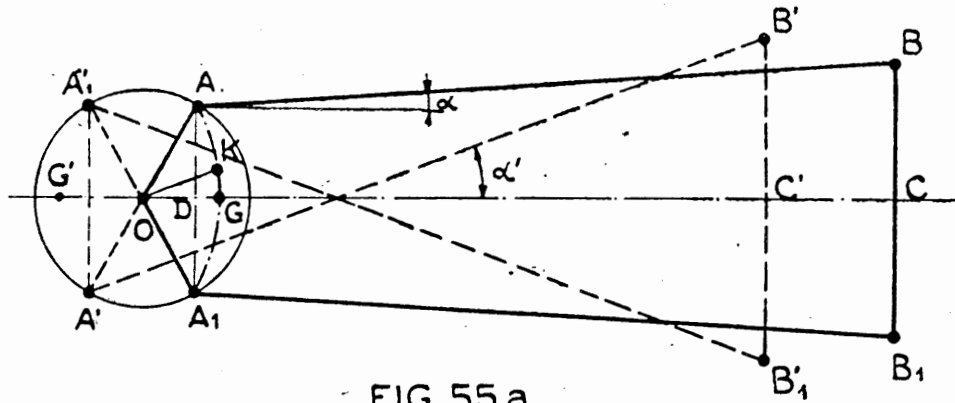


FIG. 55 a

est très faible et insuffisant pour démarrer la machine, par conséquent la coulisse de Stephenson permet au mécanicien de conduire son train à son gré.

Pour faciliter l'étude il n'a pas été tenu compte de l'obliquité des barres d'excentriques, en réalité elle influe

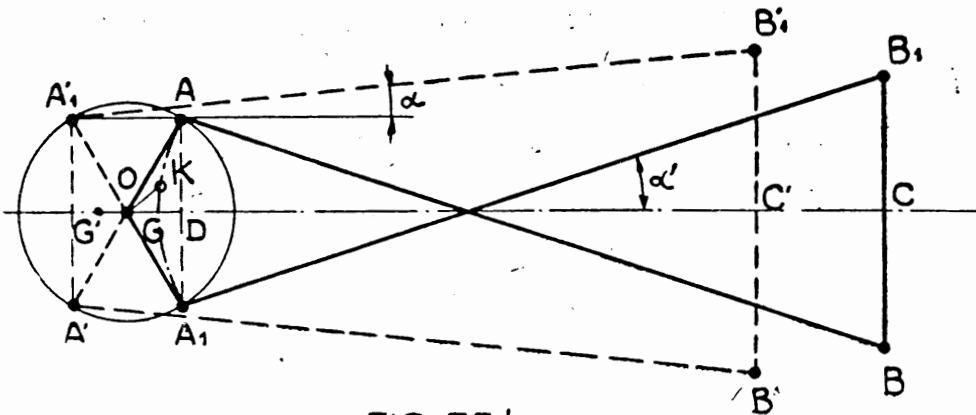


FIG. 55 b

sur la position des points G et i' qui se trouvent plus sur la droite HH' , mais sur un arc de grand rayon passant par H, H' .

c) Coulisse à barres droites, à barres croisées.

On dit que la coulisse est à barres droites lorsque les 2 barres se coupent dans le plus grand des 2 angles formés par les rayons d'excentriques, par exemple celle de la figure 52. Elle est à barres croisées lorsque les 2 barres se coupent dans le plus petit des 2 angles ; dans une coulisse à barres croisées le point H commanderait C' et H' commanderait C .

Soient figures 55 a et b une coulisse à barres droites et une coulisse à barres croisées, placées à mi-suspension,

la manivelle au point mort. Le tiroir est conduit par le point C milieu de la coulisse qui correspond dans les positions de la figure au point mort à droite.

Si l'on fait tourner l'essieu de 180° le point C vient en C', la course du tiroir est CC'. On a :

figure 55 a : $CC' = 2OD + AB(\cos\alpha - \cos\alpha')$ d'où $CC' > 2OD$ ou $OG = \frac{CC'}{2} > OD$

figure 55 b : $CC' = 2OD - AB(\cos\alpha - \cos\alpha')$ d'où $CC' < 2OD$ ou $OG < OD$

On remarque donc :

— avec les bielles droites ou ouvertes, que l'avance linéaire augmente avec le degré de détente car $OG > OD$; avec les bielles croisées qu'elle diminue au contraire. Sur les locomotives on employait généralement les bielles ouvertes. En effet, l'augmentation de l'avance linéaire est avantageuse, surtout aux grandes vitesses, où l'on emploie précisément les longues détentes, car elle diminue le laminage. Pour éviter qu'elle ne soit exagérée on donnait parfois une avance linéaire nulle pour la marche à fond de course.

— que la variation obtenue dans la course du tiroir est plus grande avec les bielles croisées qu'avec les bielles ouvertes. Mais elles ont l'inconvénient, aux faibles admissions, d'étrangler bien plus les orifices et de donner une ouverture et une fermeture des orifices plus lente.(1)

Pour déterminer la courbure à donner au secteur, on s'impose la condition que la position moyenne du tiroir autant que possible fixe, quel que soit le point occupé par le coulisseau sur la coulisse, afin d'obtenir la même distribution pour les 2 côtés du cylindre.

Ceci conduit à lui donner un rayon égal à la longueur des barres (concavité tournée vers l'essieu).

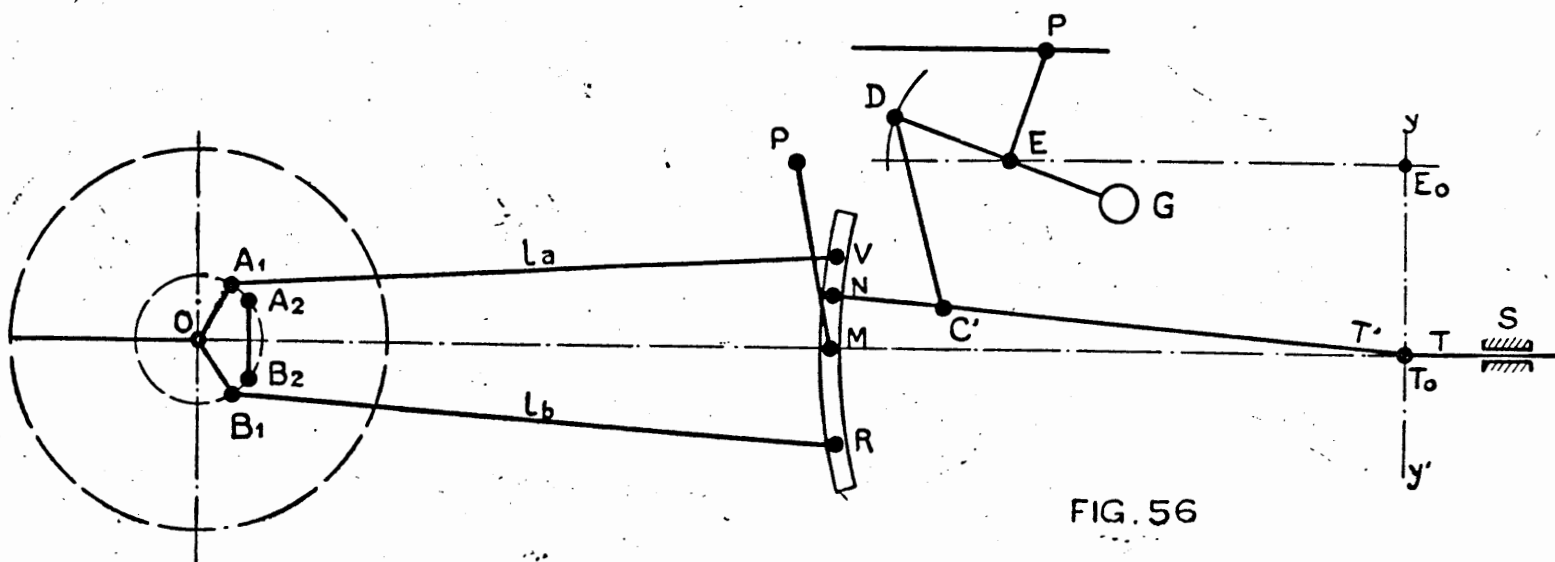


FIG. 56

2° Coulisse de Gooch

La coulisse de Gooch (fig. 56) (comme d'ailleurs aussi la coulisse d'Allan) diffère peu de la coulisse de Stephenson; c'était surtout la commodité de leur application à un type de machine donné plus que leurs avantages propres au point de vue distribution qui dictait le choix entre ces systèmes. Un des inconvénients de la coulisse de Stephenson est par exemple le grand effort qu'il faut exercer pour le relevage de l'appareillage mobile, coulisses, barres et colliers d'excentriques.

Dans la coulisse de Gooch la courbure de la coulisse est en sens inverse de la coulisse de Stephenson. Elle est suspendue par son milieu à un point fixe et non plus à l'extrémité du levier d'un arbre de relevage. Le coulisseau est relié au tiroir par une bielle qui peut être relevée par un système de leviers.

On donne à la coulisse un rayon égal à la longueur de la barre de prolongement du tiroir. L'avance linéaire du tiroir est ainsi invariable quelle que soit la position de l'arbre de relevage, en effet quand la manivelle motrice est à l'un de ses points morts, c'est-à-dire quand le tiroir présente l'avance linéaire, la coulisse est dans sa position moyenne, l'extrémité T₀ de la barre de prolongement du tiroir est précisément au centre de l'arc de cercle de la coulisse; par suite on peut placer le coulisseau N dans n'importe quelle position dans la coulisse, en manœuvrant le changement de marche, sans que le point T₀ ni par suite le tiroir ne bouge. L'avance linéaire reste donc la même quel que soit le cran de marche.

Comme avec la coulisse de Stephenson on démontre que le mouvement du coulisseau peut être considéré comme produit par un excentrique fictif dont le rayon est variable avec chaque position du coulisseau dans la

(1) Erratum : C'est par suite d'une erreur dans la longueur des barres (traits pleins et ponctués) que sur la fig. 55 b la distance CC' n'est pas égale à 2OG. Cette distance est donc plus petite que celle correspondante de la fig. 55 a. D'autre part on doit avoir BB₁ = B'B₁ sur les 2 figures 55 a et b.

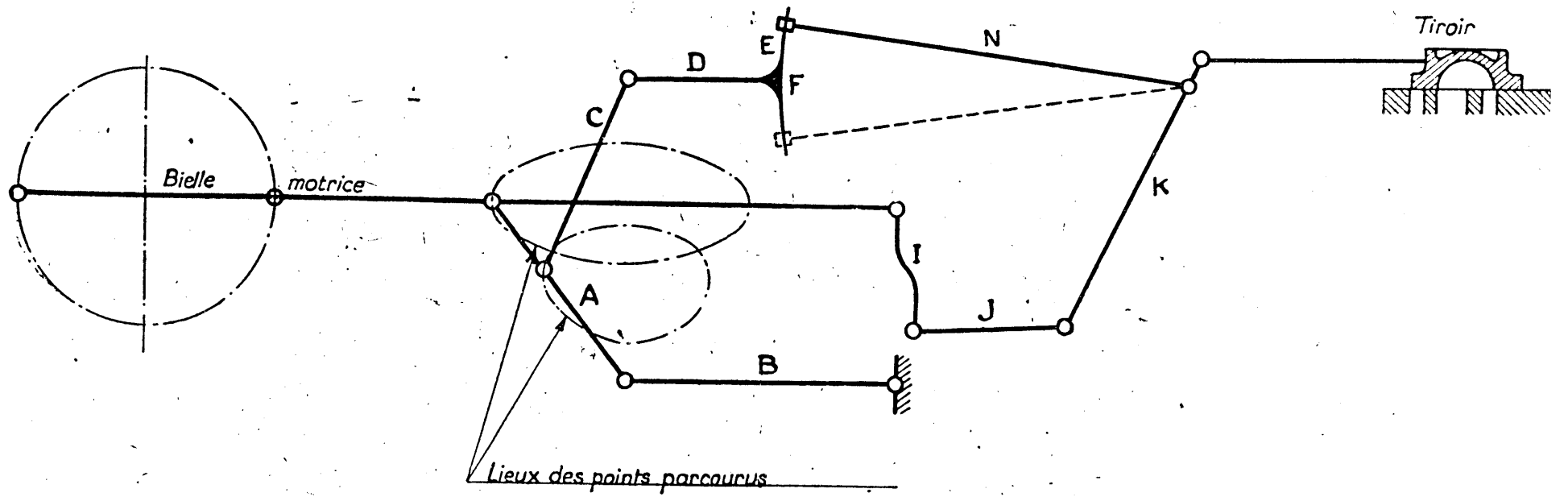


FIG. 58

coulisse. La ligne des excentriques fictifs est une droite A^2B^2 parallèle à A_1B_1 qui joint les centres des excentriques réels.

3° Coulisse d'Allan.

La coulisse d'Allan (fig. 57) est droite donc de construction plus facile. Elle est une combinaison des systèmes de Stephenson et Gooch. Elle est suspendue à l'arbre de relevage par son milieu. La bielle de commande du tiroir qui porte le coulisseau est aussi suspendue à l'arbre de relevage comme dans la coulisse de Gooch. Ces deux suspensions sont disposées de telle sorte que l'une s'élève lorsque l'autre descend, l'arbre de relevage est donc auto-équilibré.

Les avances linéaires aux divers crans de marche varient comme avec la coulisse de Stephenson, mais la

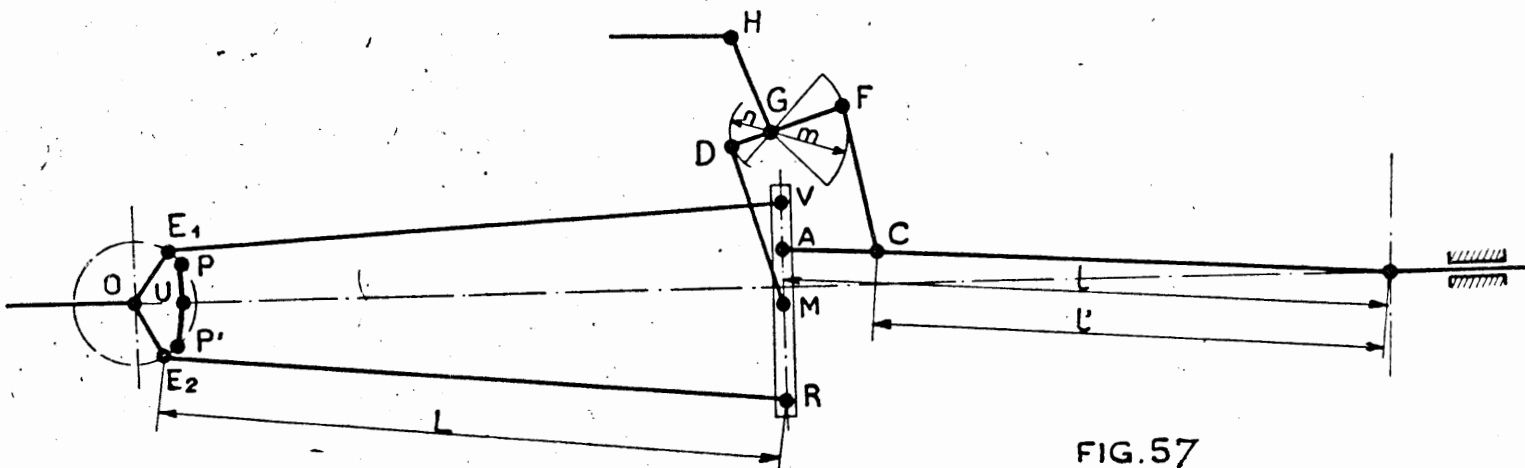


FIG. 57

variation est moindre (la moitié environ). L'invariabilité de la position médiane du tiroir quel que soit le cran de marche est obtenu par le choix judicieux de l'emplacement du point G sur la bielle DF. La ligne des excentriques fictifs qui ne passe ni par E_1 ni par E_2 est la courbe PUP' moins accentuée que pour la coulisse Stephenson.

4° Coulisse de Joy.

Cette distribution très employée en Angleterre comprend (fig. 58) :

- un système de bielles A,B,C qui reçoivent leur mouvement d'une articulation prise sur la bielle motrice et le transmettent par l'intermédiaire d'un levier D à la coulisse E mobile autour d'un axe fixe F.
- un système de levier et de bielles IJK,N analogue à celui de la distribution Walschaerts et jouant le même rôle.(4)

B. — COULISSE WALSCHAERTS

1° Principe.

Examinons la coulisse CC' (fig. 59), articulée en son milieu I et commandée par la barre

(4) Voir étude de la Revue Générale des ch. de fer (avril 1888) sur les distributions radiales. On peut définir ces mécanismes en disant que le mouvement du tiroir y est commandé par un point quelconque d'une bielle dont une extrémité décrit une courbe fermée tandis que l'autre extrémité se déplace suivant une ligne droite ou une courbe ouverte. Cet article présente une analyse cinématique complète des distributions alors en usage : Hachworth, Marshall, Klug, Angstrom, Brown et Joy en les ramenant au diagramme de Zeuner.

Voir d'autre part, en ce qui concerne les distributions Morton et Bryce Dougal, la Rev. G^{ne} des ch. de fer n° de Juillet 1886 et Janvier 1887.

d'excentrique AF qui reçoit son mouvement d'un excentrique ou d'une contre-manivelle A, supposons l'angle de calage MOA voisin de 90 degrés.

La tige de tiroir DE est guidée horizontalement. Le point D recevant son mouvement de la barre de prolongement de tiroir BD, le coulisseau B peut occuper dans la coulisse toutes les positions comprises entre B et B'.

Tous les points entre I et B ont un mouvement de même sens que B et tous les points entre I et B' ont un mouvement de sens contraire.

La barre de prolongement de tiroir BD a une longueur égale au rayon de courbure de la coulisse ; quand le coulisseau est en I, son axe coïncide avec celui d'oscillation de la coulisse et le tiroir ne reçoit aucun mouvement de cette dernière.

Nous avons vu précédemment que, lorsqu'on réduit l'angle de calage, on réduit l'avance à l'admission et on ne peut conserver celle-ci qu'en réduisant le recouvrement à l'admission. Si l'angle de calage devient voisin de 90 degrés (fig. 60), non seulement l'avance à l'admission s'anule, mais le recouvrement à l'admission du tiroir disparaît. L'angle de calage de 90° ne peut, par conséquent convenir qu'à un tiroir sans recouvrement.

Prenons le cas d'un tiroir sans recouvrement admettant par les arêtes extérieures. Pour que le mouvement de la machine soit possible, quel que soit le sens de rotation, le tiroir doit se déplacer dans le sens DE (fig. 59) la manivelle motrice étant à son point mort arrière. Mais, en prenant une position quelconque de la manivelle, M₁ par exemple, il est visible que les positions entre I et B' du coulisseau correspondent à la marche AV et que les positions entre I et B du coulisseau correspondent à la marche AR. En effet, pour que le tourillon de manivelle se déplace de M à M₁ en marche avant, il faut que le tiroir se déplace d'arrière à l'avant pour admettre sur la face Arrière du piston et ce mouvement ne sera obtenu, A se déplaçant vers l'Avant, que si le coulisseau I est entre I et B'. Inversement, pour que la manivelle motrice tourne marche Arrière; le tiroir doit encore se déplacer vers l'Avant, mais le centre d'excentrique A venant vers l'Arrière, il faudra que le coulisseau soit entre I et B pour que le tiroir soit tout de même poussé vers l'Avant.

La coulisse de Walschaerts est basée sur ce principe, mais avec les modifications nécessaires pour commander un tiroir à recouvrements.

Au dispositif de la figure 59, on a ajouté les organes de la figure 61, énumérés ci-après : à la crosse de piston est fixée une barre rigide PG (levier de crosse de piston), qui commande par la bielle GH (bielle de levier d'avance), le levier HDE (levier d'avance) ; ainsi la tige du tiroir ET n'est pas commandée directement par le point D, mais par le point E du levier HDE.

Le point D est toujours le centre de l'arc de coulisse quand le piston est à ses points morts AV et AR.

La distribution Walschaerts comprend donc les pièces principales suivantes :

AB barre de commande de coulisse.	CD barre de prolongement de tiroir.
C coulisseau	NS barre de changement de marche.
C ₁ C ₂ coulisse.	VN et VL bras de l'arbre de relevage.
I axe d'articulation de la coulisse.	V arbre de relevage.
MA contre-manivelle ou OA excentrique.	LK barre de relevage.
OM manivelle motrice.	HDE levier d'avance.
PP ₁ tige de piston.	GH bielle de levier d'avance.
ET tige de tiroir.	CG levier de crosse de piston.

Dans la distribution de Walschaerts les avances linéaires sont constantes. — Prenons le piston à son point mort arrière (fig. 61). Le calage réel, c'est-à-dire l'angle MOA formé par la manivelle OM et le rayon OA passant par le centre d'excentrique A est voisin de 90 degrés.⁽¹⁾ La coulisse C est dans sa position moyenne d'oscillation autour de son axe I ; la longueur de la barre de prolongement de tiroir CD étant égale au rayon de courbure de la coulisse, quelle que soit la position du coulisseau dans cette coulisse (placée dans sa position moyenne) le point D ne change pas de position et le levier d'avance se place toujours suivant HDE de la figure 61 quand le piston

(1) Il est égal à 90° si l'axe d'articulation I de la coulisse se projette sur la ligne des points morts du piston (fig. 59). Sinon, (fig. 61), il est égal à $90^\circ \pm \alpha$, l'angle de calage fictif commandant le tiroir par la coulisse restant de 90°.

est à son fond de course arrière : le tiroir est alors à l'avance linéaire à l'admission du cylindre arrière.

Faisons tourner la manivelle d'un demi-tour de façon à amener le piston à son point mort avant, pour les mêmes raisons que précédemment le levier d'avance est toujours en E'DH' et le tiroir occupe toujours la position qui correspond à l'avance linéaire à l'admission du cylindre avant.

Le tiroir reçoit son mouvement d'une part de l'excentrique OA et d'autre part du piston, ce dernier agit sur le levier d'avance EDH qui doit être partagé par le point D dans un rapport déterminé.

Cherchons la valeur de ce rapport et pour cela plaçons la barre de prolongement de tiroir CD

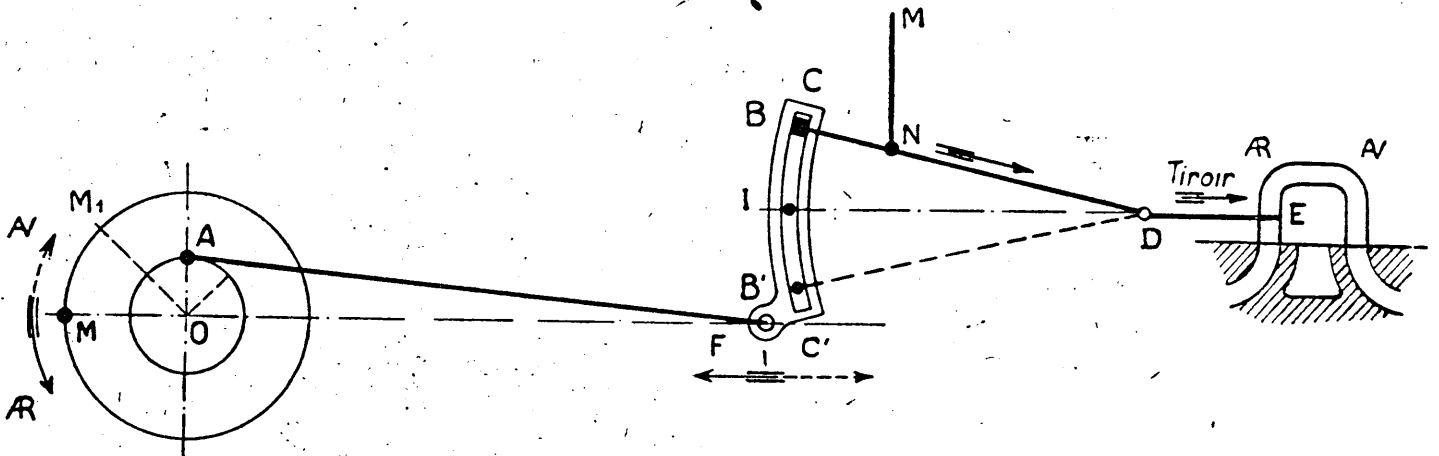


FIG. 59

à mi-suspension (index du changement de marche au zéro), le coulisseau C est confondu avec l'axe d'articulation I de la coulisse.

Dans cette position, le tiroir ne reçoit aucun mouvement de l'excentrique, le piston seul le déplace. Le point D reste fixe et le point H est entraîné par le piston, de H en H' quand la machine fait un demi-tour dans un sens quelconque.

Le levier d'avance prend la position E'DH', le tiroir étant passé de l'avance linéaire à l'admission au cylindre arrière à l'avance linéaire à l'admission au cylindre avant ; il s'est donc déplacé d'une longueur égale à la somme des deux recouvrements à l'admission et des deux avances linéaires ; cette course est égale à E.E'.

La course HH' de l'extrémité du levier de crosse de piston est égale à la course du piston. Les triangles DE'E et DH'H étant semblables, on a :

$$\frac{DE}{DH} = \frac{EE'}{HH'} = \frac{\text{Avances AR et AV à l'admission} + \text{recouvrements AV et A R admission}}{\text{Course du piston}}$$

Pour nous rendre compte qu'il en est bien ainsi, prenons le tiroir dans sa position moyenne.

Pour passer de la position d'avance à l'admission à l'AR-cylindre à la position moyenne, il faut faire parcourir au tiroir :

avance à l'admission Arrière + recouvrement à l'admission Arrière.

Pour passer de la position moyenne à l'admission Avant, il faut déplacer le tiroir de :

recouvrement Avant à l'admission + avance à l'admission Avant.

Soit au total deux avances à l'admission + deux recouvrements admission.

2° Excentriques fictifs.

Le tiroir est commandé à la fois par l'excentrique et par le piston, il faut donc composer ces deux mouvements, pour cela considérons-les d'abord séparément (fig. 61) :

a) Le tiroir est commandé par l'excentrique OA, le levier d'avance EDH étant démonté.

La coulisse oscille autour du point I, supposons la marche placée à fond de course avant, le coulisseau sera en C₂, les points C₂ et B de la coulisse décrivent des arcs de circonférences ayant respectivement IC₂ et IB pour rayon. D'une part, la longueur de l'arc décrit par le point B est approximativement égale à la course de l'excentrique. OA. D'autre part, la course du tiroir serait approximativement égale à la longueur de l'arc décrit par le point C₂. Le mouvement du tiroir serait donc le même que s'il était commandé par un excentrique OA₂ calé à 90° avec la manivelle motrice et dont le rayon serait donné par la relation :

$$\frac{OA_2}{OA} = \frac{IC_2}{IB} \text{ d'où } OA_2 = OA \times \frac{IC_2}{IB} \quad (\text{fig. 63})$$

Prenons un tiroir admettant par les arêtes extérieures et la manivelle tournant dans le sens AV, OA₂ est en avance sur OM de 90 degrés.

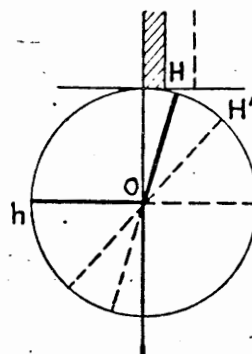


FIG. 60

b) Le tiroir est commandé par le levier d'avance seul.

On place le coulisseau C en I, le mouvement du tiroir ne provient, que du mouvement du piston par l'intermédiaire du levier d'avance.

Le point H de la figure 61 représente les déplacements du piston, donc de la manivelle motrice, le point E le mouvement du tiroir, parce que le point D est fixe. Par conséquent, le mouvement du tiroir est le même que s'il était commandé par un excentrique OK calé à 180 degrés avec la manivelle motrice et tel que l'on ait :

$$\frac{OK}{OM} = \frac{EE'}{HH'}$$

Or, nous avons vu que :

$$\frac{EE'}{HH'} = \frac{DE}{DH}$$

donc :
$$\frac{OK}{OM} = \frac{DE}{DH} \quad \text{d'où } OK = OM \times \frac{DE}{DH} \quad (\text{fig. 63}).$$

c) Combinaison des deux mouvements.

Sur une droite xx' on prend une longueur égale au rayon de manivelle motrice OM. En O,

on élève la perpendiculaire yy_1 à cette droite, puis de O comme centre, on décrit une circonférence avec le rayon d'excentrique OA.

Sur Oy , on porte OA_2 , tel que :

$$OA_2 = OA \times \frac{IC_2}{IB}$$

On joint MA et sur son prolongement on prend un point L tel que :

$$\frac{AL}{AM} = \frac{DE}{DH} \quad (\text{fig. 61})$$

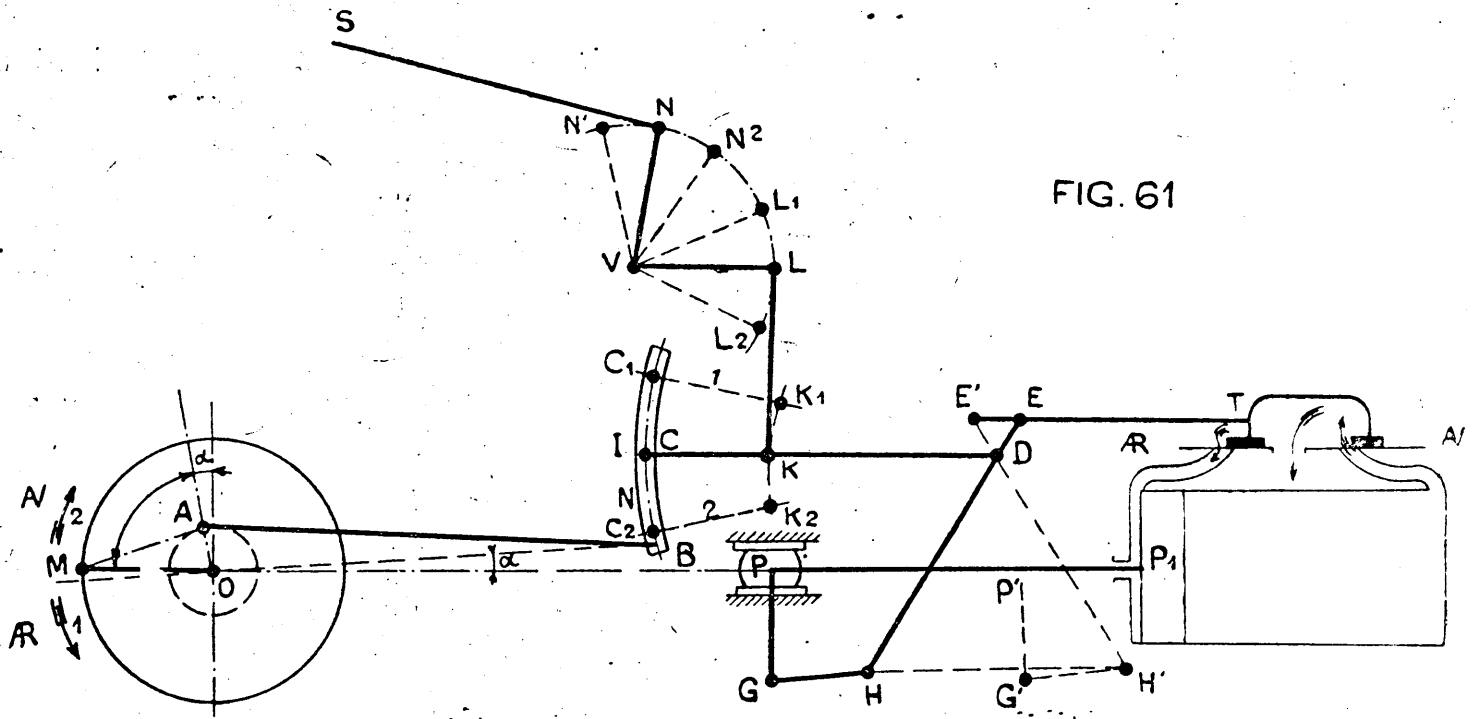


FIG. 61

De L, on abaisse la perpendiculaire LK sur xx' ; les triangles MAO et MLK sont semblables, d'où :

$$\frac{OK}{OM} = \frac{AL}{AM} = \frac{DE}{DH}$$

On a donc bien :

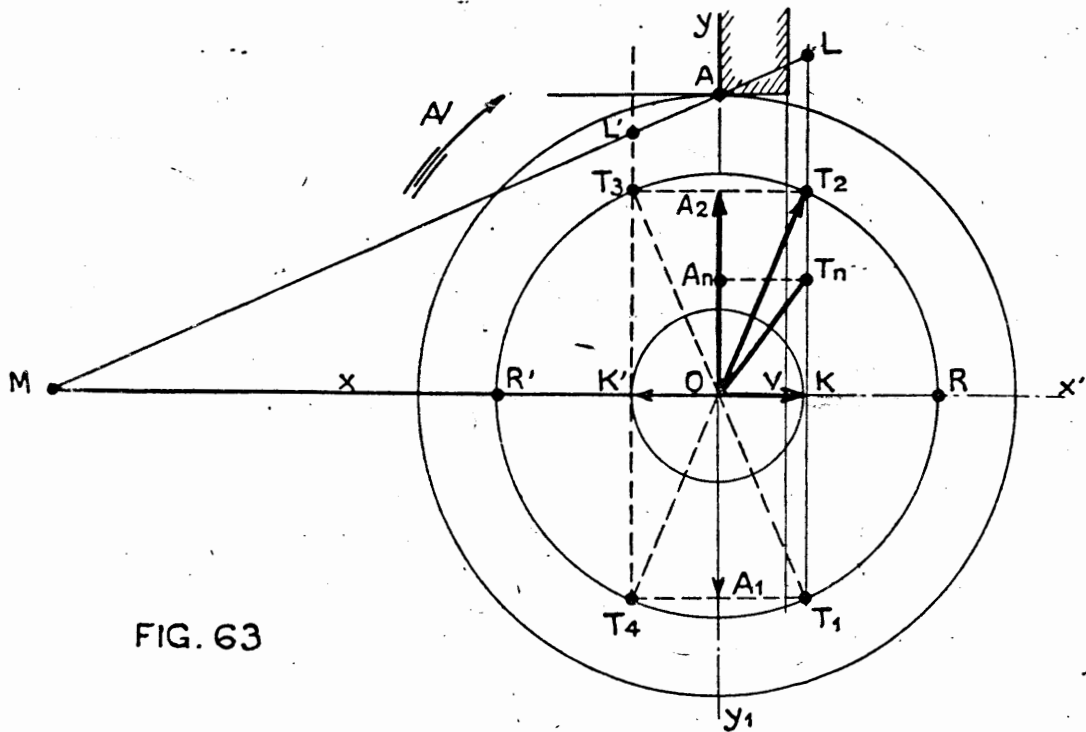
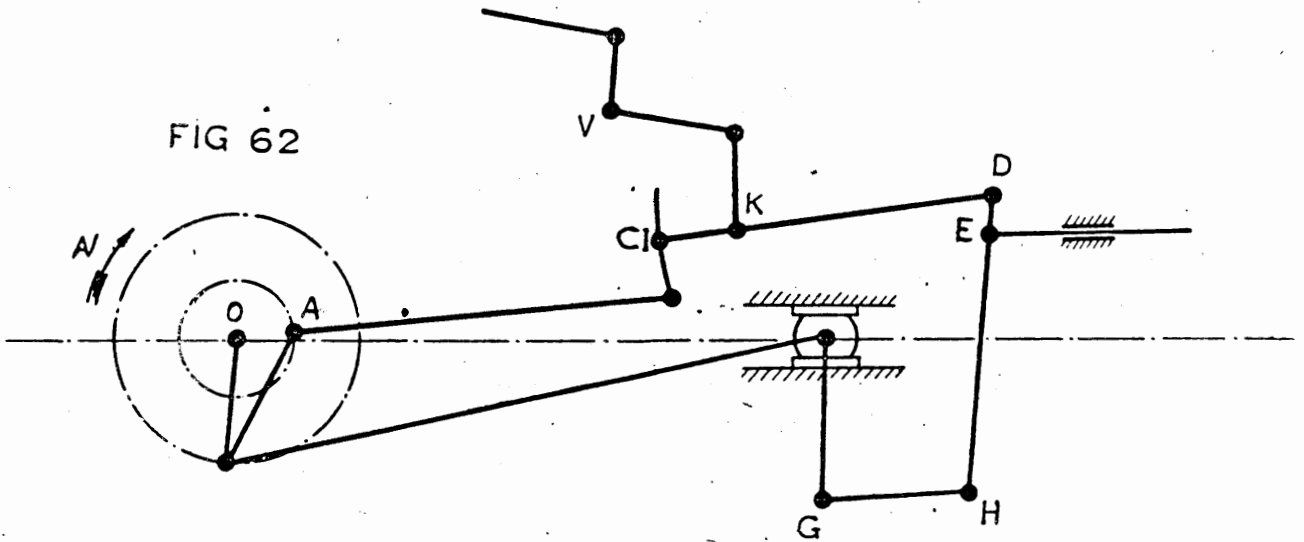
$$OK = OM \times \frac{DE}{DH}$$

On compose les deux manivelles fictives OA_2 et OK et on obtient OT_2 qui fait avec la manivelle motrice l'angle de calage MOT_2 .

Le mouvement du tiroir résultant de la commande de la coulisse par l'excentrique et du mouvement du piston est le même que s'il était conduit par la manivelle fictive OT_2 obtenue en composant OA_2 et OK .

Quand on déplace le coulisseau C dans la coulisse et qu'on le fixe dans la position N, la manivelle fictive An du mouvement de l'excentrique est également sur OA telle que $O_n An = OA \times \frac{IN}{IB}$ et la manivelle fictive du mouvement (du piston) est toujours OK ; la manivelle fictive résultante Tn est toujours sur KT_2 , et l'angle de calage est $MOTn$.

Si on prend la marche arrière, on obtient les positions symétriques par rapport à xx' .
 Si le tiroir admet par les arêtes intérieures, les manivelles fictives le commandant sont situées sur une droite T_3T_4 symétrique de T_2T_1 par rapport à yy_1 . Cette droite partage MA dans le rapport



$\frac{AL'}{AM}$ tel que $\frac{AL'}{AM} = \frac{DE}{DH}$ mais, dans ce cas, les points D et E sont inversés sur le levier d'avance (fig. 62).

La figure 64 a. représente sur épure sinusoidale, la course du tiroir de la figure 62 au point mort de la marche, elle est une réduction du mouvement du piston.

La figure 64 b. représente sur épure sinusoïdale la course du tiroir supposé entraîné uniquement par la coulisse (disposition de la fig 62).

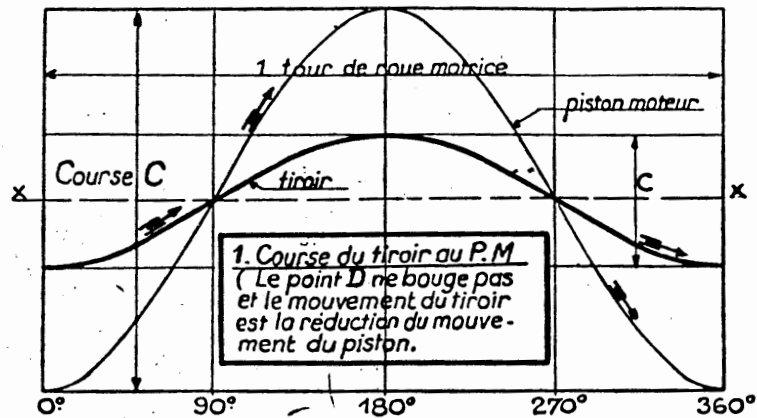


FIG. 64a

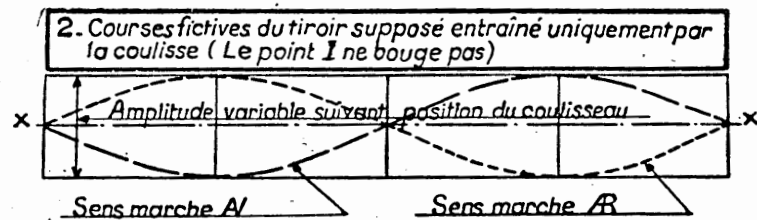


FIG. 64.b

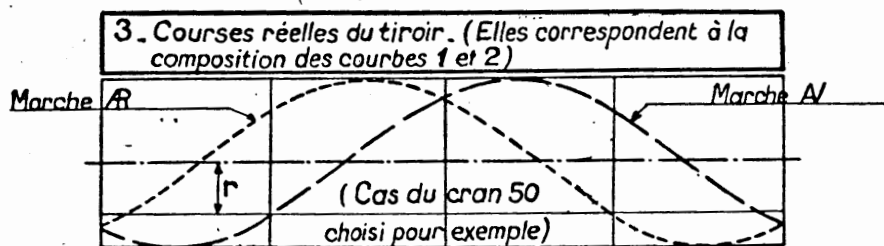


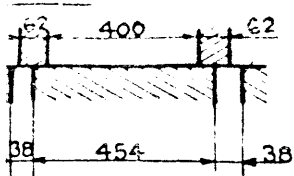
FIG. 64 c

La figure 64 c. représente les courses réelles du tiroir correspondant à la combinaison des courbes 64 a et b. (1)

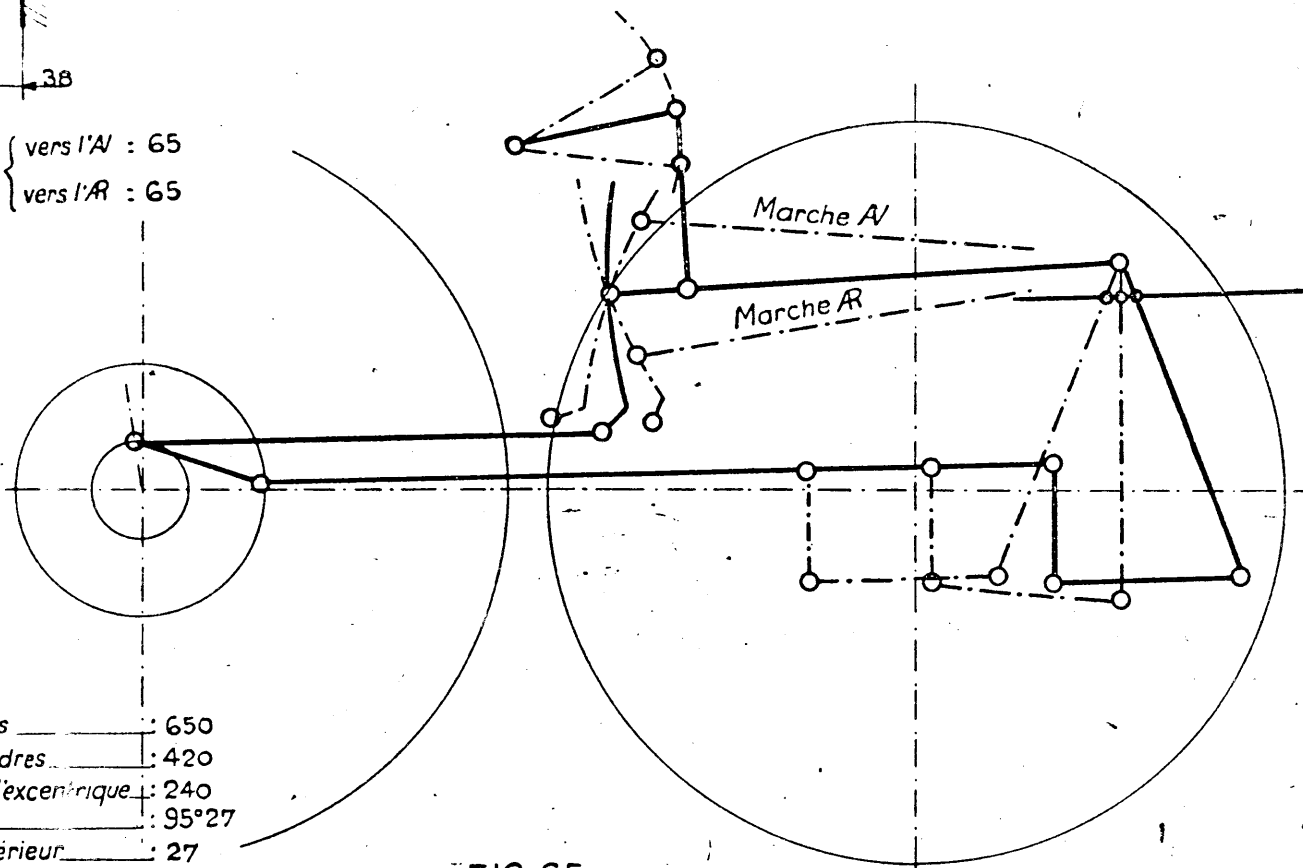
En résumé, dans une distribution Walschaerts :

— Si un tiroir admet par les arêtes extérieures (fig. 61), les manivelles fictives qui le commandent se trouvent, selon le cran de marche, sur KT_2 pour la marche avant et sur KT_1 pour la

(1) Erratum : Sur la fig. 64 c, aux extrémités du graphique, les courses réelles du tiroir (marches AV et AR) sont égales à $r = \frac{C}{2}$.



1/2 course du tiroir { vers l'A : 65
vers l'R : 65



Course des pistons : 650
 Diamètre des cylindres : 420
 Course de la bielle d'excentrique : 240
 Angle de colage : 95°27
 Recouvrement intérieur : 27
 Découvrement extérieur : 3
 Course au point mort : 69

FIG. 65

Sens de la marche	Avance linéaire		Ouverture maxima		Introduction %		Détente %		Echappement anticipé		Echappement %		Compression		Contre-vapeur		
	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	
Maximum	A	7.5	7.5	38	35.5	74	79	15	13	11	8	94	92	5.75	7.375	0.25	0.625
	R	7.5	7.5	37	39	74	82	14	10.5	12	7.5	94.5	92	4.166	7.25	0.33	0.75
60%	A	7.5	7.5	21.5	19.5	57	60	23	23	20	17	88	84	11.25	14.5	0.75	1.5
	R	7.5	7.5	20	19	56	60	23	23.5	21	16.5	88	85	11	13.5	1	1.5
50%	A	7.5	7.5	17	15.5	49	50	27	29	24	21	84	81	14.75	17	1.25	2
	R	7.5	7.5	16.5	15.5	48	50	28	29	24	21	84	81	14.75	17	1.25	2
40%	A	7.5	7.5	13.5	12.5	40	40	31	33	29	27	80	77	18.25	20.25	1.75	2.75
	R	7.5	7.5	13.5	13	40	40	31	34	29	26	80	77	18.25	20	1.75	3
30%	A	7.5	7.5	10.5	10	31	30	34	35	35	35	74	72	23.25	24	2.75	4
	R	7.5	7.5	10.5	10.5	31	30	35	37	34	33	74	73	23.25	23	2.75	4
Point mort	A	7.5	7.5	7.5	7.5	10.5	12	34.5	33.5	55	54.5	55	54	34	34	11	12
	R	7.5	7.5	7.5	7.5	10	12	36	33.5	54	54.5	54.5	54	35.25	34	10.75	12

marche arrière. L'axe d'articulation D de la barre de prolongement de tiroir avec le levier d'avance est située entre E et H.

— Si un tiroir admet par les arêtes intérieures (fig. 62), les manivelles fictives qui le commandent se trouvent, selon le cran de marche, sur $K'T_1$ pour la marche avant et sur $K'T_2$ pour la marche arrière. L'axe d'articulation D de la barre de prolongement de tiroir avec le levier d'avance se trouve sur le prolongement de HE.

d) **Remarques**

— Le diamètre KK' (fig. 63), représente la course du tiroir quand l'index du changement de marche est au zéro de la règle, c'est-à-dire quand le coulisseau est confondu avec l'axe de la coulisse, si OV représente le recouvrement à l'admission, VK est l'avance linéaire ; on voit qu'elle est constante.

$$KK' = 2 (OV + VK) \\ = 2 (\text{recouvrement} + \text{avance linéaire}).$$

— Le diamètre RR' représente la course du tiroir à fond de course.

$$RR' = 2 (OV + VR) \\ = 2 (\text{recouvrement} + \text{ouverture maximum}).$$

— On a également :

$$OK = \text{recouvrement} + \text{avance linéaire} :$$

donc :

$$\frac{OK}{OM} = \frac{DE}{DH} = \frac{\text{recouvrement} + \text{avance linéaire}}{\text{rayon de la manivelle}}.$$

— En général, pour la marche avant, le coulisseau est descendu dans la coulisse et on a donc : pour les machines dont les tiroirs admettent la vapeur par les arêtes extérieures, une manivelle d'excentrique A en avance sur la manivelle motrice OM, dans le sens de la marche (fig. 59) ; pour les machines dont les tiroirs admettent par les arêtes intérieures une manivelle d'excentrique OA, en retard dans le sens de la marche avant sur la manivelle motrice OM.

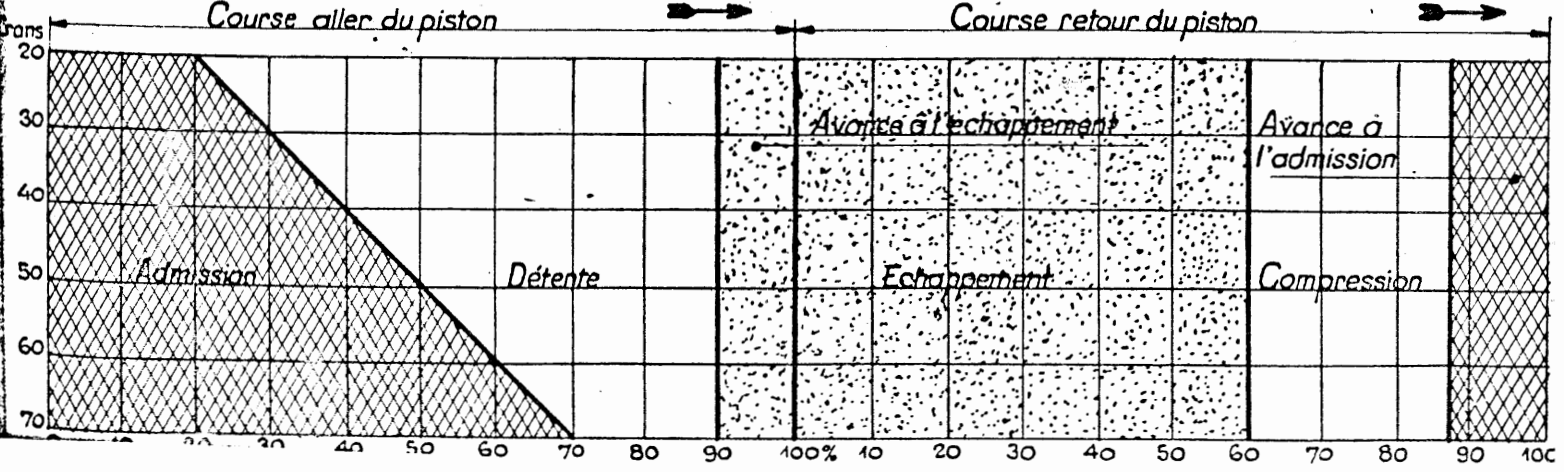
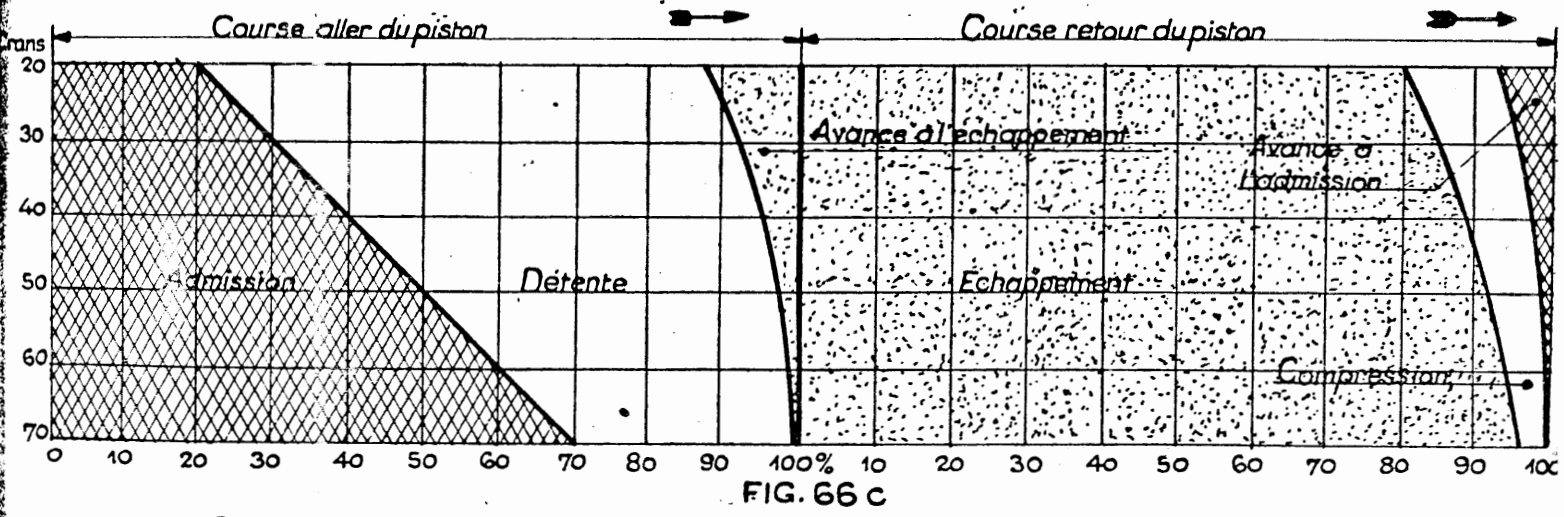
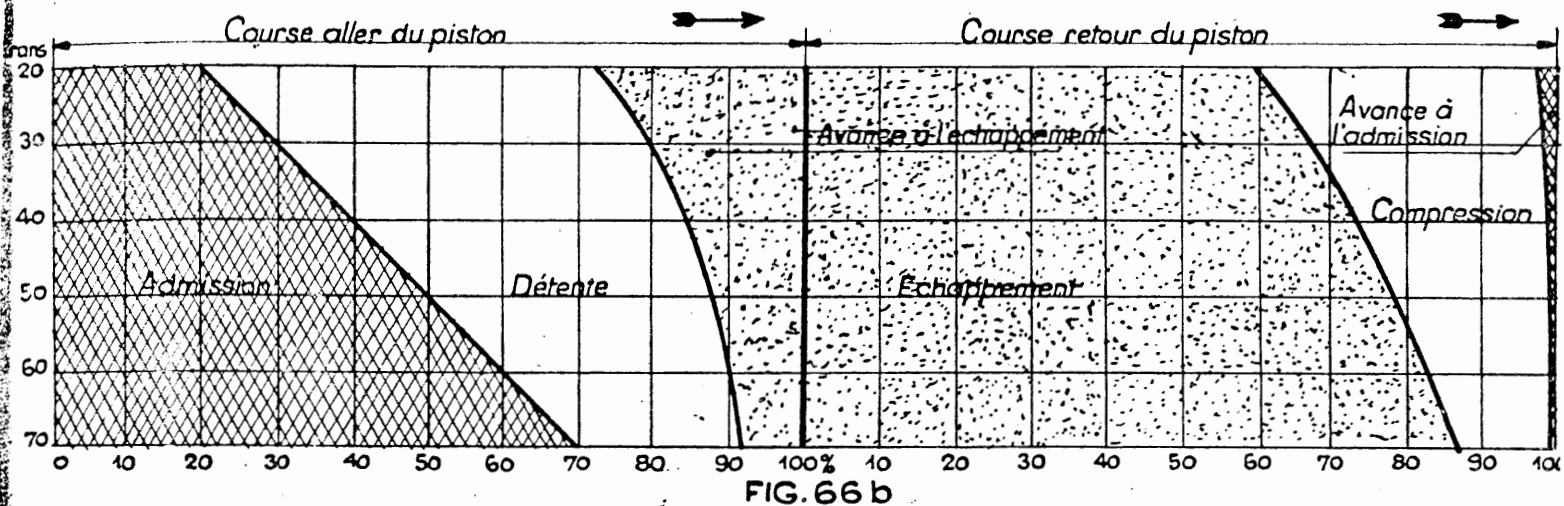
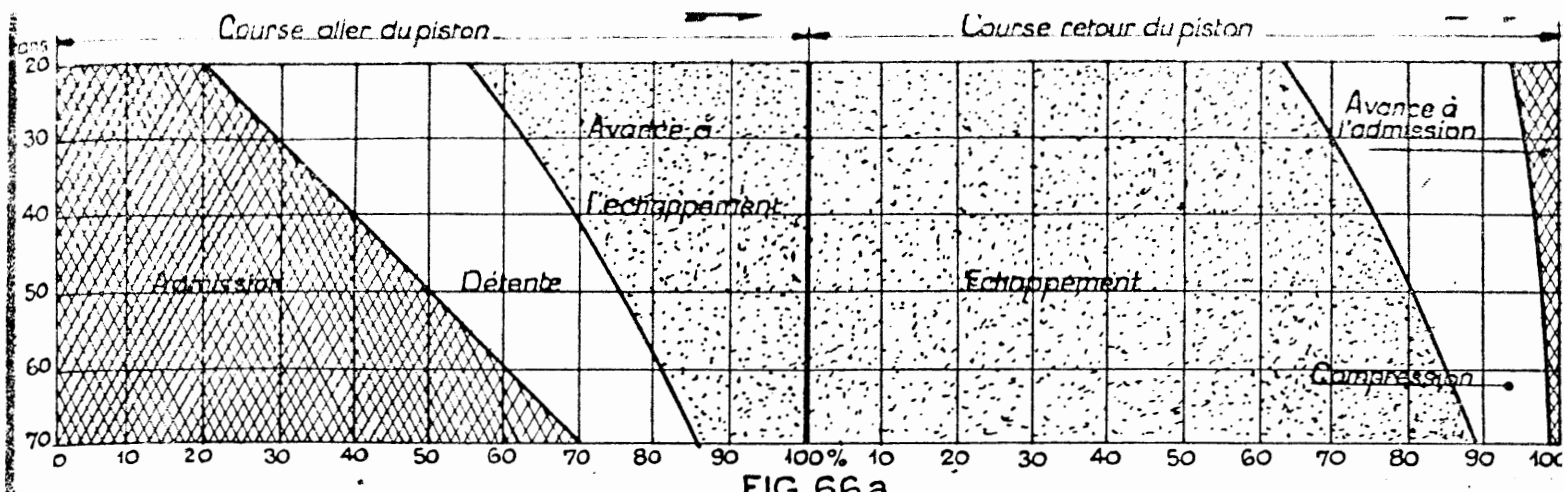
3° Particularités de la distribution Walschaerts.

a) **Nouveau procédé de représentation graphique de l'ensemble d'une distribution.**

Un faisceau de courbes elliptiques de Foveau est une traduction graphique du tableau figure 65 réunissant les chiffres exprimant les durées des différentes phases correspondant à quelques crans d'admission. Ce faisceau et ce tableau ont l'inconvénient de ne pas parler aux yeux et ne peuvent montrer clairement l'ensemble des variations des diverses phases. Le procédé suivant permet en comblant cette lacune, de comparer, d'autre part, avec une extrême facilité les distributions de deux machines.

Pour représenter les phases qui correspondent à un cran d'admission donné on porte sur une droite horizontale, à la suite l'une de l'autre deux longueurs égales représentant les courses aller et retour du piston. Sur cette ligne, on marque les positions du piston qui correspondent successivement au commencement de chacune des phases. On opère ainsi pour quelques crans en disposant les lignes parallèlement les unes aux autres et l'on réunit par une courbe les points indiquant les commencements de chaque phase. On espace les lignes proportionnellement aux durées d'admission de façon que la courbe qui représente le commencement de la détente soit une droite (fig. 66).

De semblables figures faites en prenant une même longueur pour représenter la course du piston, permettent par superposition une comparaison rapide de l'ensemble de deux distributions.



b) **Caractéristiques normales de la distribution Walschaerts.**

— Les avances linéaires sont constantes.
 — Les phases sont liées aux différents crans de marche (comme dans toutes les distributions par excentriques). Les courbes des figures 66 a, b et 67 c. montrent qu'en faisant varier le cran d'introduction on modifie également la valeur relative de toutes les autres phases.

L'échappement anticipé et la compression augmentent dans des proportions gênantes quand l'admission diminue ce qui peut être un grand inconvénient au point de vue de la douceur de la marche et de l'utilisation de la vapeur.

— Les phases sont liées pour un même cran de marche (voir chap. II, § E. 5°) comme dans toutes les distributions par excentriques.

— En faisant varier légèrement par exemple la valeur du découvrement à l'échappement, on peut diminuer la compression, mais on modifie simultanément la période de détente, qui est diminuée et surtout celle d'avance à l'échappement qui est augmentée.

On ne peut modifier sérieusement les éléments principaux ; course d'excentrique, amplitude

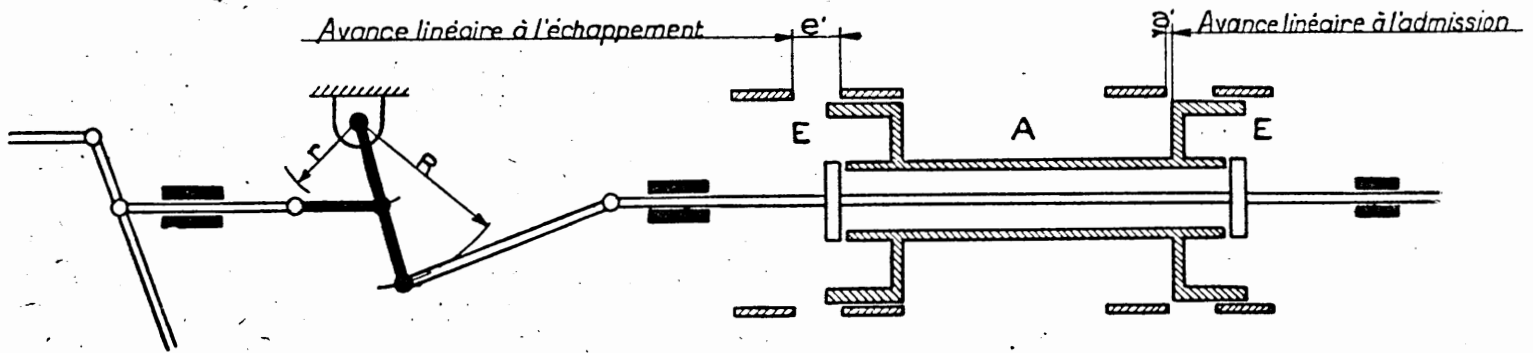


FIG. 68

d'oscillation de la coulisse, rapport des bras du levier d'avance, sans compromettre la sûreté de fonctionnement de cette distribution ; aussi la rencontre-t-on très généralement sous une forme classique qui admet les valeurs moyennes suivantes :

(c) course au point mort.....	69 m/m
(r) recouvrement à l'admission.....	27 m/m
(a) avance linéaire admission.....	7,5 m/m
(d) recouvrement échappement.....	—3 m/m
(e) avance linéaire échappement.....	37,5 m/m
course au cran 80.....	138 m/m

Le recouvrement à l'échappement est ici négatif (découvrement) ceci dans le but de réduire au minimum, la période de compression et d'augmenter l'avance à l'échappement dans le cas des machines de vitesses, ce qui n'est obtenu qu'au détriment de la détente. Il peut arriver qu'il soit positif (0 à 5 m/m) dans le cas de machines à faible vitesse ou à distribution modifiée.

On a cherché à s'affranchir de la liaison des phases en raison de ces inconvénients. On a imaginé pour cela de nombreux dispositifs à phases indépendantes. Nous les étudierons au chapitre IV.

— L'ouverture des lumières diminue avec l'admission cette particularité est le deuxième grand inconvénient de la distribution Walschaerts.

La figure 67 a. montre trois courbes sinusoïdales de marche avant correspondant à trois crans

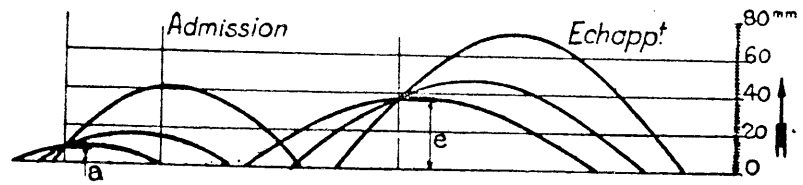


FIG. 67a

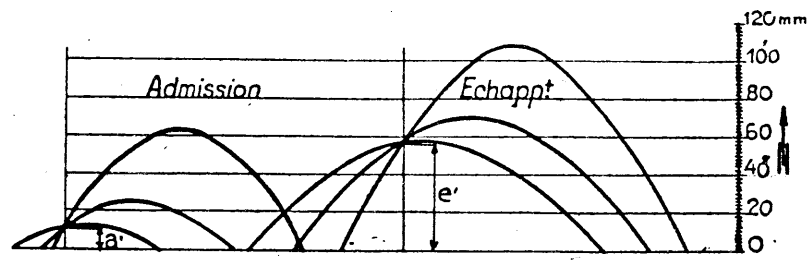


FIG. 67 b

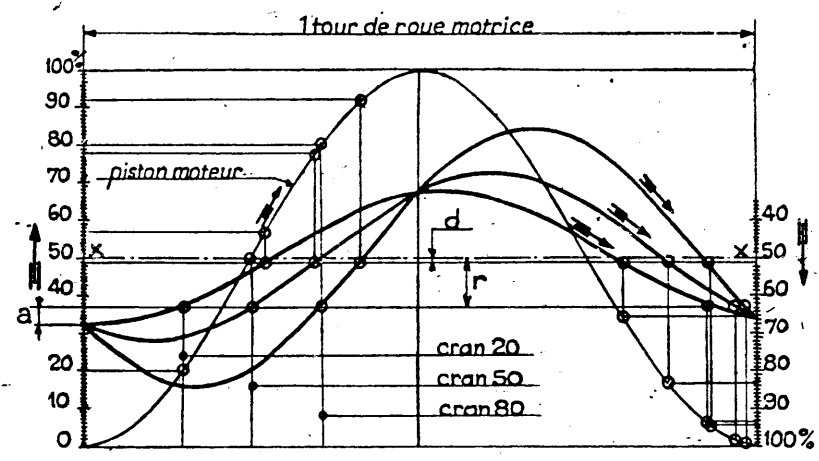


FIG. 67c

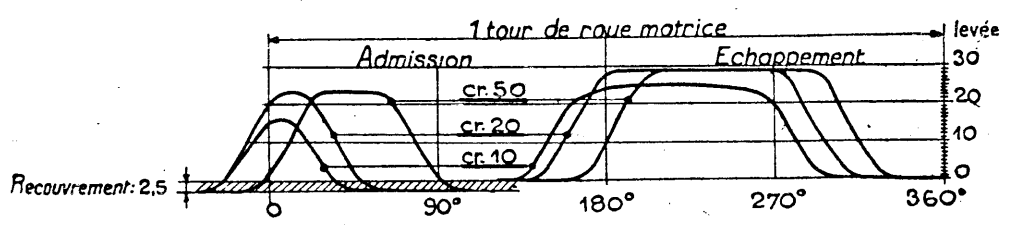


FIG. 67d

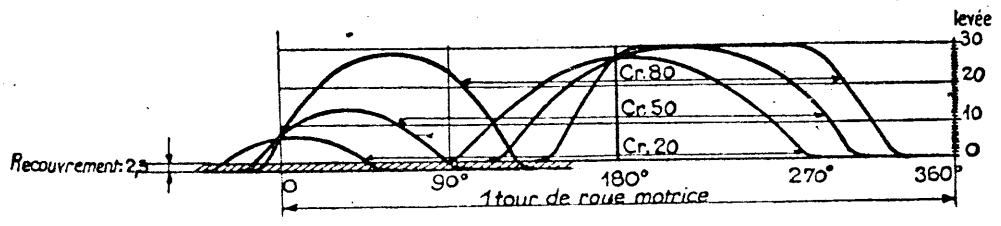


FIG. 67e

de marche ayant les mêmes points de départ : (a) étant égal à l'avance à l'admission et (e) à l'avance à l'échappement. On y voit nettement apparaître ce grave défaut de l'insuffisance des sections de passage pour les crans réduits utilisés en simple expansion.

Pour y remédier, tout en maintenant la distribution Walschaerts, cette dernière a été modifiée (§ 4° suivant) ou l'on utilise des distributeurs à soupapes (voir chap. VIII).

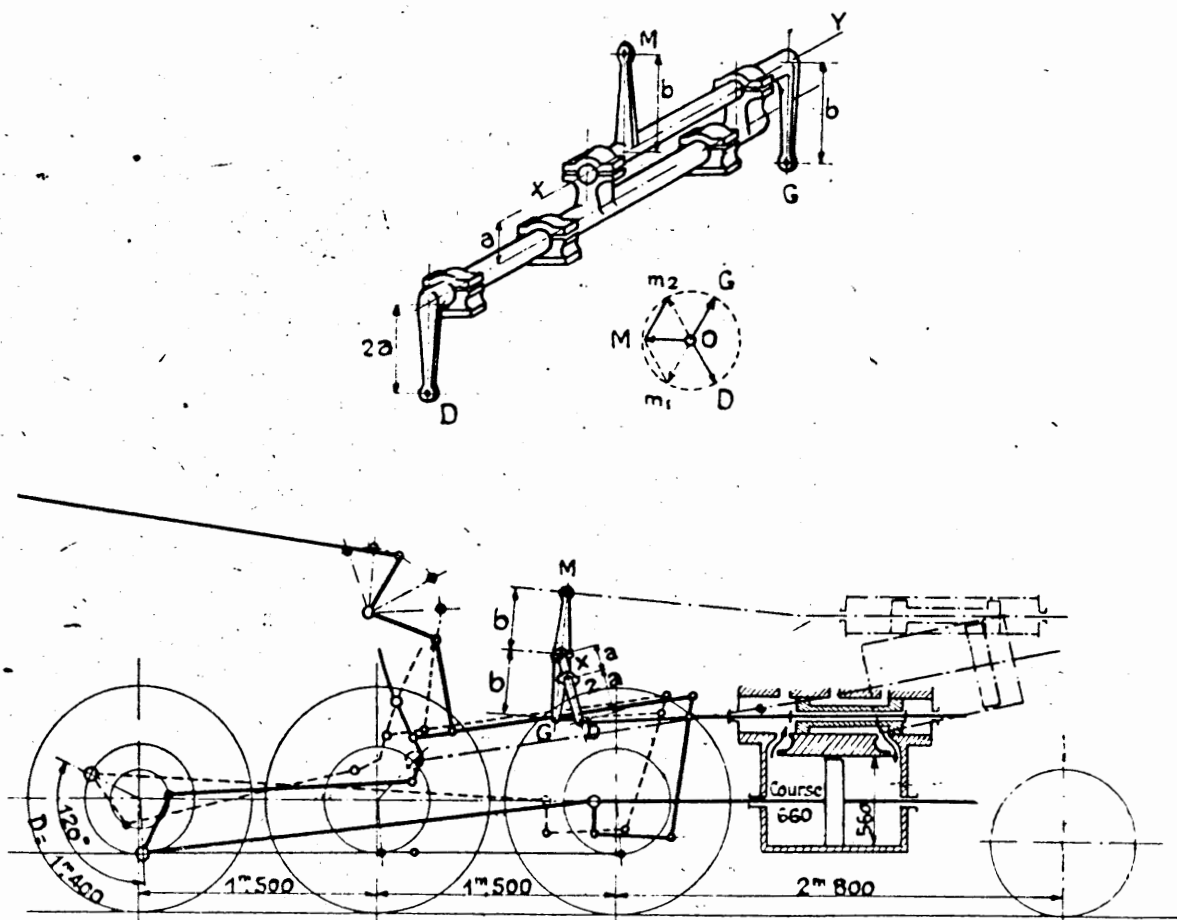


FIG. 68 bis

4° Améliorations de la distribution Walschaerts.

a) Tiroirs à longue course.

Le tiroir plan qui est de construction simple assure une bonne étanchéité mais le mécanisme qui l'actionne doit être robuste pour vaincre le frottement dû à la pression qui s'exerce sur le tiroir. Pour réduire ce travail de frottement au minimum, la course du tiroir a été réduite. Quand on a appliqué les tiroirs cylindriques, bien qu'équilibrés et donnant lieu à un frottement réduit on a conservé la même course.

Les valeurs relatives des différents paramètres d'une distribution Walschaerts étant déterminées comme nous l'avons dit par des considérations théoriques (obtention de courbes caracté-

ristiques normales) et pratiques (encombrement et accélérations maxima des différentes articulations), on peut néanmoins obtenir uniquement l'augmentation des sections de passages dans un rapport $\frac{R}{r}$ en réalisant avec un levier de renvoi (fig. 68), une distribution homothétique de celle d'origine qui donne les mêmes phases. Les valeurs caractéristiques c , d , r , a et e ainsi que la largeur du tiroir et des lumières et la course du distributeur sont multipliées par ce rapport $\frac{R}{r}$ compris entre 1 et 2).

La figure 67 b. donne les courbes sinusoïdales correspondantes. La vitesse et la course du distributeur étant doublées, les forces d'inertie le sont aussi et il devient nécessaire d'utiliser des distributeurs allégés.

D) Distribution à paramètres inusités.

Certaines distributions ont été étudiées spécialement pour une marche économique à un cran usuel ou pour l'utilisation pratique d'un cran de marche plus réduit, en choisissant les paramètres d'une manière inusitée (1). Nous citerons à titre d'exemple, celle appliquée à la HP des 231-H et celle appliquée aux machines d'origine Est.

Caractéristiques de la distribution	241-A (HP)	231-II (HP)
Course au point mort	93	65
Recouvrement admission	36,5	29
Avance linéaire admission	10	3,5
Recouvrement à l'échappement	0	5
Avance linéaire à l'échappement	47,5	27,5
Course maximum	190	129

Ces caractéristiques peuvent être comparées à celles d'origine qui sont celles classiques déjà indiquées précédemment. La figure 66 a. traduit le tableau des phases d'une distribution Walchaerts classique, la figure 66 b. traduit le tableau de la distribution Walchaerts des 231-H.

5' Distributions Conjuguées.

On a, en général, autant de mouvements de distribution qu'il y a de cylindres sur la locomotive.

Dans le cas des locomotives à quatre cylindres égaux HP (230-781 à 800), les mouvements intérieur et extérieur d'un même côté, leurs manivelles étant calées à 180° l'une de l'autre, sont sensiblement inverses (ils le seraient exactement si les bielles motrices étaient de même longueur). Il en est de même des mouvements des tiroirs. Il suffit donc de renvoyer de l'extérieur à l'intérieur en le renversant le mouvement du tiroir extérieur, ce qui supprime tout mouvement intérieur.

Pour les locomotives à trois cylindres (150-A) une solution élégante de la distribution du cylindre intérieur a été trouvée par une conjugaison de celles des deux cylindres extérieurs. Les mouvements des trois tiroirs sont des mouvements synchrones de même amplitude décalés d'un tiers de phase. La conjugaison est réalisée mécaniquement par le système représenté figure 68 bis.

Le levier G reçoit le mouvement du tiroir côté gauche, le levier D, le mouvement du tiroir côté droit. Ce dernier levier entraîne un arbre portant deux paliers qui servent de centre d'oscillation à un autre arbre, lequel est actionné par le levier G et porte le levier M de commande du tiroir

(1) Voir Revue Générale des Chemins de fer (n° d'avril et mai 1933).

médian. Le mouvement de G est celui qui serait donné par l'excentrique fictif OG. Supposons le levier D immobile, le bras du levier M étant égal à celui du levier G, le mouvement de M est celui qui sera donné par l'excentrique Om_1 égal et opposé à OG. Supposons le point G fixe et faisons mouvoir D, le mouvement de l'arbre xy est décalé d'une demi-phase par rapport à celui de D et son amplitude réduite de moitié par suite des bras de levier $2a$ et a , mais G étant fixe, le mouvement de M est le même que celui de xy et d'amplitude double, c'est-à-dire le même que celui de D, il est donc en fin de compte le même que celui qui serait donné par l'excentrique Om_2 égal et opposé à OD. Le mouvement résultant pour M des mouvements simultanés de G et D est donc celui qui serait donné par l'excentrique fictif OM (OM résultante de Om_1 et Om_2).

Ce mouvement indiqué par Madamet en 1887 comporte un grand nombre d'articulations, demande un montage très soigné et ne se prête pas aux grandes vitesses en raison des efforts d'inertie importants pour les pièces animées d'un mouvement alternatif.

Il y a lieu de préciser que cette combinaison étant basée sur le décalage de 120° des 3 distributions, le tiroir intérieur doit se mouvoir parallèlement aux 2 autres. La boîte à tiroir est donc disposée horizontalement et ne suit pas l'inclinaison donnée du cylindre intérieur. En raison de cette inclinaison l'angle que doit faire le coude de l'essieu moteur intérieur avec les manivelles motrices extérieures n'est plus de 120° et dans sa détermination on doit aussi tenir compte des phases de la distribution donnée par le tiroir intérieur. Des graphiques établis à ce sujet ont prouvé qu'il y avait intérêt pour améliorer ces phases, en particulier les avances à l'admission à effectuer une légère correction de l'angle de calage du coude calculée d'après l'inclinaison du cylindre. L'angle adopté est de ce fait de $132^\circ 45'$ au lieu de $133^\circ 50'$.