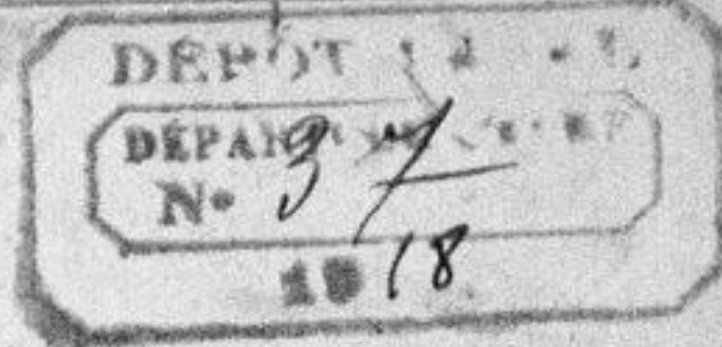


8° V
39229

8° V
39229



ÉTUDE GÉNÉRALE

DU

MOTEUR ROTATIF



PAR

R. VIDALIE

Ingénieur médaillé des Arts et Métiers,
Diplômé de l'École supérieure d'Aéronautique.

PRÉFACE

DU

Lieutenant-Colonel ROCHE

Directeur de l'École supérieure d'Aéronautique
et de Construction mécanique.

C10863

PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1918

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.
Copr. by Dunod et Pinat 1918.



ÉTUDE GÉNÉRALE
DU
MOTEUR ROTATIF

10863

8° V

39229

ÉTUDE GÉNÉRALE

DU

MOTEUR ROTATIF



PAR

R. VIDALIE

Ingénieur médaillé des Arts et Métiers,
Diplômé de l'École supérieure d'Aéronautique.

PRÉFACE

DU

Lieutenant-Colonel ROCHE

Directeur de l'École supérieure d'Aéronautique
et de Construction mécanique.

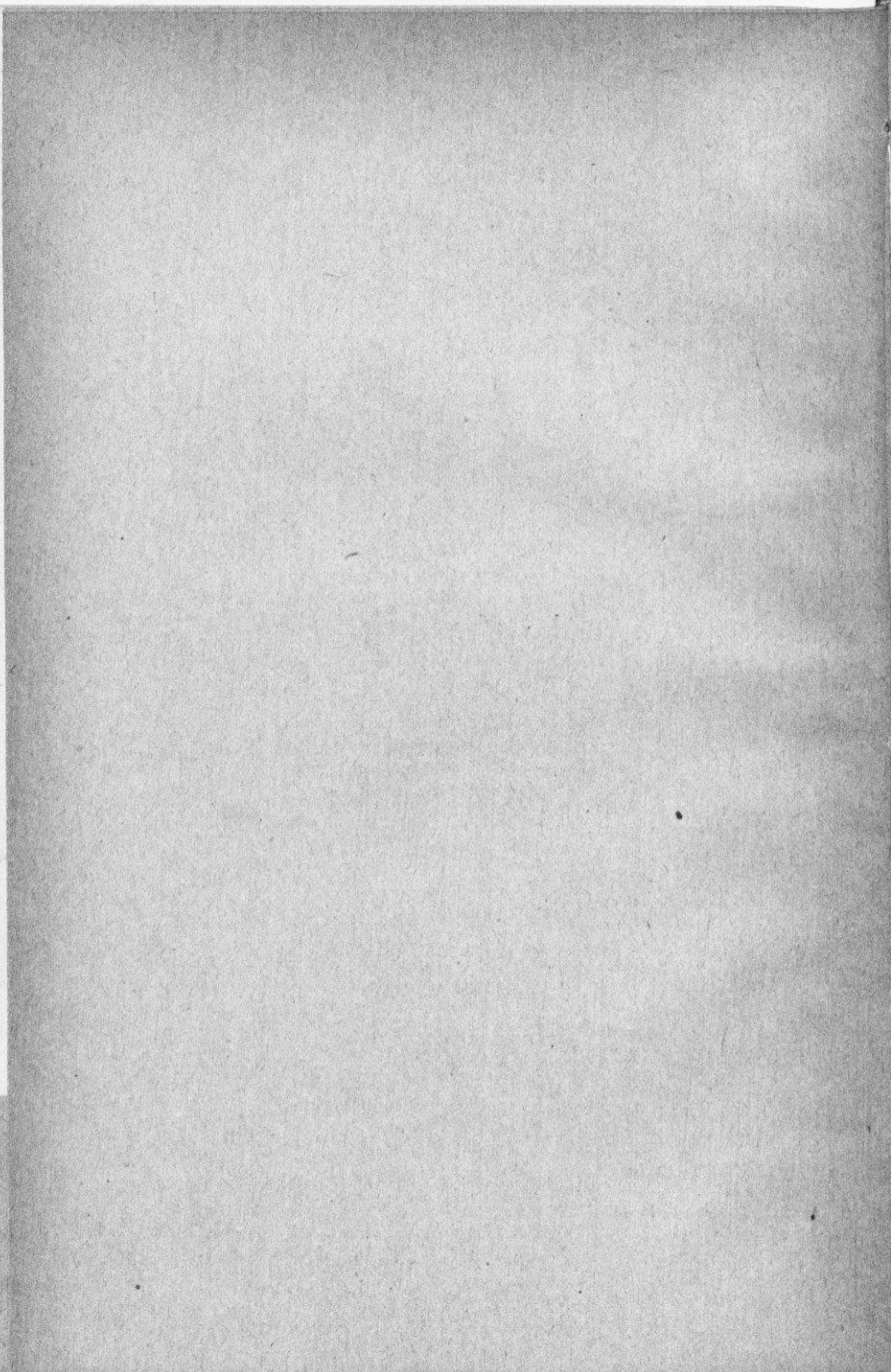
PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

1918

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.
Copr. by Dunod et Pinat 1918.



PRÉFACE

Lorsque M. Vidalie m'a fait part de son intention de publier un ouvrage sur le moteur rotatif, j'ai pensé :

« Allons, bon : voici encore un livre sur les moteurs. N'y en avait-il donc pas assez ? »

Néanmoins, puisque je devais être le parrain du nouveau-né, je l'ai lu et je m'en félicite : je crois savoir maintenant ce que c'est qu'un moteur rotatif, connaître ses avantages et ses inconvénients.

C'est que l'auteur l'a décrit d'une façon complète, depuis les principes sur lesquels repose son fonctionnement jusqu'à son installation sur un appareil et aux essais, en passant, bien entendu, par les études cinématique et dynamique, l'allumage, le carburateur et la technologie.

Je le répète, c'est un travail complet, qui ne contient que les formules nécessaires à l'intelligence de la théorie, mais l'auteur n'en a pas abusé.

Par contre, de nombreuses et très claires figures facilitent la lecture du texte.

Je suis convaincu que l'ouvrage de M. Vidalie qui

fera partie de la bibliothèque de l'École supérieure d'Aéronautique et de Construction mécanique sera consulté souvent par les futurs camarades de l'auteur, notamment au moment où ils rédigeront leur projet de moteur.

Nos ingénieurs garderont donc une grande reconnaissance à M. Vidalie qui a fait une étude si détaillée du moteur rotatif, auquel, ne l'oublions pas, sont dus la plupart des progrès de l'Aviation.

L^l-Colonel ROCHE

Directeur de l'École supérieure d'Aéronautique
et de Construction Mécanique.

Paris, le 4 juillet 1917.

AVANT-PROPOS

Le moteur rotatif n'est probablement pas le moteur de l'avenir, car il ne peut être créé que pour des puissances moyennes, tandis que les progrès de la navigation aérienne résident dans la conception d'appareils de grande vitesse et de fort tonnage, nécessitant des puissances élevées. Mais il présentera toujours un vif intérêt par sa simplicité d'organes, son encombrement réduit et sa rapidité d'installation.

Au point où en est actuellement l'aviation, il occupe une large place qu'il dispute avantageusement aux moteurs fixes de puissance égale. Tout au moins, il restera le moteur de l'appareil de sport. Ajoutons qu'il est un chef-d'œuvre de mécanique, et à ce point de vue seulement il mérite une étude.

La solution du problème de l'aviation par le vol plané propulsé était connue depuis longtemps, et ce qui en retardait la réalisation pratique était l'absence du moteur à grande puissance massique. Le moteur à vapeur était le seul auquel on put avoir recours : Hiram Maxim avait bien construit une machine de 300 HP pesant 3,5 kg. au cheval, mais de laquelle on ne pouvait tirer aucun profit pour les planeurs existants. En 1897, Ader combina un appareil volant avec un moteur de 30 HP, pesant 100 kilogrammes environ, et

sa machine démontra qu'on était sur la bonne voie dans le problème du vol. Dès que le moteur à explosion fit son apparition, les frères Wright en construisirent un de 25 HP pesant 3,600 kg. au cheval, l'adaptèrent à un planeur depuis longtemps expérimenté et réalisèrent une série de vols.

Le moteur à explosion prit un développement rapide : on alléga à l'extrême le moteur d'automobile à cylindres verticaux, puis vint la disposition en V, par laquelle on doubla le nombre des cylindres pour un même vilebrequin. Pour diminuer l'encombrement en longueur on imagina le moteur en étoile, d'où dérivait le moteur en éventail, pour parer aux inconvénients de graissage du précédent. Enfin apparut le rotatif.

La conception de ce moteur a donné lieu à des réalisations excessivement variées et ingénieuses au point de vue cinématique : on a vu le moteur dont le fonctionnement est basé sur le principe du théorème de Lahire, celui à tore, à cylindres oscillants, etc... La plupart de ces systèmes plus ou moins bizarres ont échoué et la pratique n'a laissé subsister qu'un type unique, le système à bielle et manivelle ordinaire.

Nous nous bornerons dans cet ouvrage à l'étude de ce type, le seul employé pratiquement.

ÉTUDE GÉNÉRALE DU MOTEUR ROTATIF

CHAPITRE PREMIER. PRINCIPES GÉNÉRAUX

Comparaison avec le moteur fixe.

Voyons comment on passe d'un moteur à l'autre. Dans le fixe, le vilebrequin tourne autour de l'axe O du carter (fig. 1). Sur son maneton A , est articulée la tête de la bielle AB , reliée en B au piston qui glisse dans le cylindre solidaire du carter. Nous distinguons :

Un groupe d'organes fixes : carter et cylindre.

Un groupe d'organes mobiles : vilebrequin animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe O , bielle animée d'un mouvement combiné, piston animé d'un mouvement rectiligne alternatif.

Immobilisons le vilebrequin dans la position OA (fig. 2) et laissons tourner carter et cylindre autour de l'axe O . Le mouvement relatif des organes fixes et

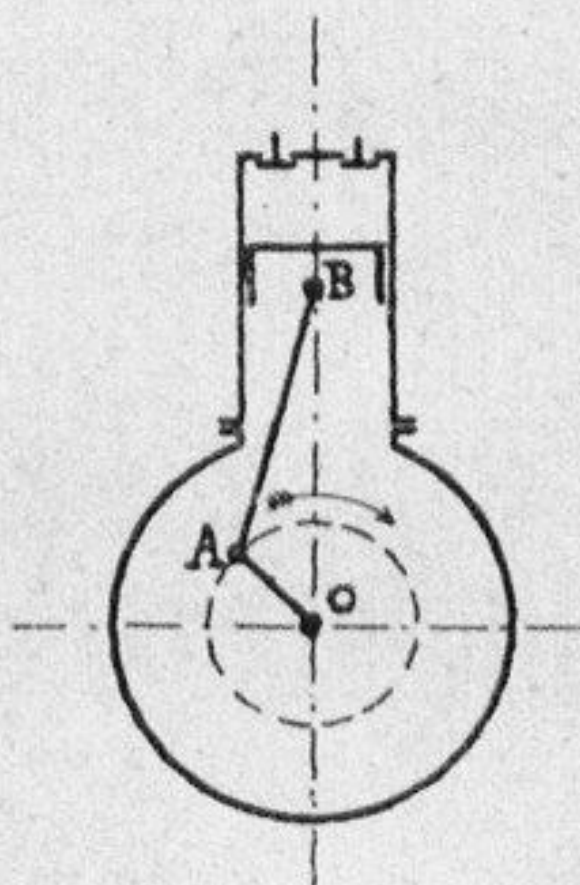


Fig. 1.

mobiles est le même que précédemment, mais dans ce cas nous distinguons :

Un organe fixe : le vilebrequin :

Un groupe d'organes mobiles : carter et cylindre ani-

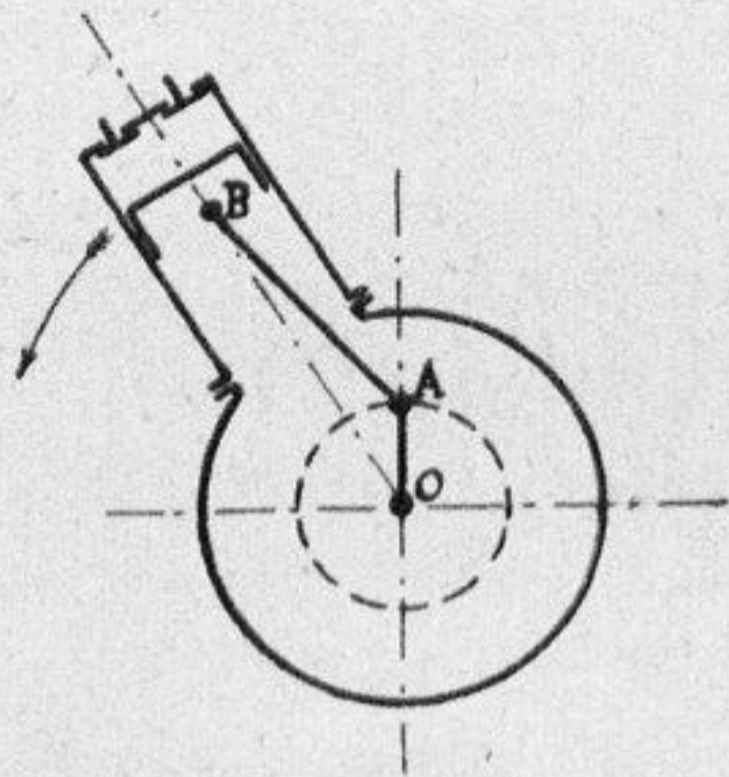


Fig. 2.

més d'un mouvement de rotation autour de l'axe O, bielle et piston animés d'un mouvement de rotation autour de l'axe A.

Tous les mouvements existants sont des rotations : nous avons réalisé un *moteur rotatif*.

Deux axes sont donc à distinguer :

1° *L'axe de rotation du carter* ou axe du moteur lui-même, coïncidant avec l'axe du vilebrequin.

2° *L'axe de rotation des bielles* ou axe du maneton, sur lequel sont articulées les têtes de bielles.

Cette disposition a l'avantage de supprimer tout mouvement alternatif et, par cela même, les effets d'inertie nuisibles, surtout aux grandes vitesses. Par contre, elle donne naissance à des forces centrifuges dont on peut déterminer la valeur avec précision ; et si dans certains cas elle est nuisible, — alors l'équilibrage est facile, — la rotation de la masse principale constitue un volant qui donne au moteur une régularité de marche, achetée sur les moteurs fixes au prix de l'adjonction d'un fort volant.

L'idée de ce moteur est ancienne car nous trouvons, au Conservatoire des Arts et Métiers, un motorcycle dans lequel la propulsion est obtenue à l'aide d'un moteur rotatif, monté sur la roue avant, et dont

les cylindres constituent les rayons de cette roue.

L'adaptation du rotatif aux grandes puissances et aux grandes vitesses présentait quelques difficultés à cause des efforts énormes que fait naître la force centrifuge. Le développement de l'industrie métallurgique nous a donné des aciers spéciaux, à haute résistance, qui ont permis la réalisation de pièces à la fois légères et robustes, qualités incompatibles qui s'imposent dans la construction.

Réalisation du cycle à quatre temps.

Tous les rotatifs actuels fonctionnent suivant le cycle à quatre temps :

ADMISSION. — La figure 3 représentant la position initiale, faisons tourner le moteur, dans le sens de la flèche f , jusqu'à la position indiquée par la figure 4.

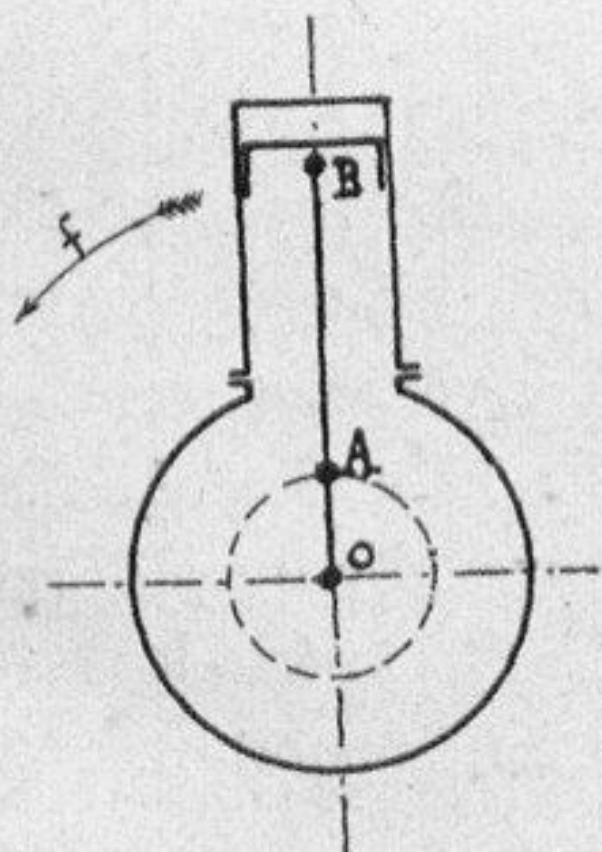


Fig. 3.

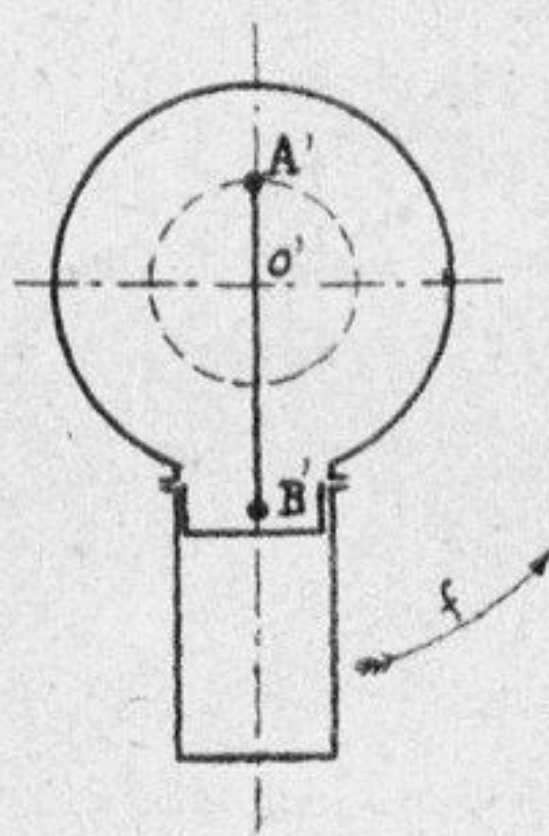


Fig. 4.

Le piston est passé du point mort haut au point mort bas, en parcourant, dans le cylindre, une *course* dont la valeur est :

$$OB - O'B'$$

$$\text{Or, } OB = OA + AB \quad \text{et} \quad O'B' = A'B' - O'A'$$

D'où, $\text{course} = OA + AB - A'B' + O'A'$.

Comme $AB = A'B'$ et $OA' = O'A'$,

$$\text{Course} = 2.OA.$$

et le volume déplacé par le piston, qui s'est empli de gaz frais par une soupape ouverte pendant cette course, est la cylindrée.

Nous avons accompli *le temps d'admission*.

COMPRESSION. — En tournant toujours dans le même sens, nous revenons, après un demi-tour, à la position indiquée par la figure 3. Pendant cette phase, les gaz sont comprimés dans la *chambre de compression* : c'est *le temps de compression*.

DÉTENTE. — A la fin de la période de compression, le mélange gazeux comprimé explose sous l'action de

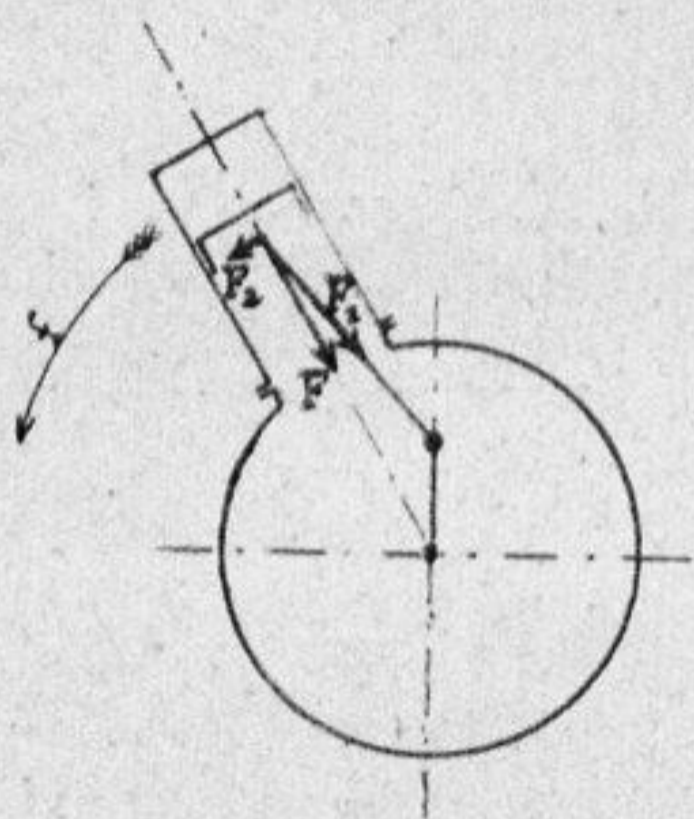


Fig. 5. — Forces dues à l'explosion.

l'étincelle; il donne naissance à une force F , normale au piston (fig. 5), laquelle peut se décomposer en une force F_1 , dirigée suivant la bielle et vaincue par la réaction de celle-ci, et une force F_2 , perpendiculaire à la direction de la bielle, et qui engendre la rotation.

Nous passons à la position indiquée par la figure 4.

Les gaz se sont détendus, c'est *le temps de détente*, temps moteur.

ÉCHAPPEMENT. — Par l'inertie de la masse, le moteur continue sa rotation et le piston remonte dans le cylindre,

provoquant l'évacuation des gaz brûlés, par une soupape ouverte pendant cette course : c'est le *temps d'échappement*.

REMARQUES. — I. Le cycle s'accomplit en deux tours du moteur et par simple rotation des organes. Mais il est à remarquer que le mouvement relatif du cylindre et du piston est un mouvement rectiligne alternatif, comme dans les moteurs fixes.

II. Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que d'un seul cylindre sur le carter. L'idée se présente à l'esprit de répartir autour du carter, en une étoile régulière, un certain nombre de cylindres, dans un triple but :

- a. *Pour l'équilibrage des masses tournantes.*
- b. *Pour la suppression des points morts.*
- c. *En vue d'une multiplication de puissance.*

De ces généralités ressortent de suite les avantages du rotatif :

1° *Poids et encombrement réduits*, provenant de la répartition d'un grand nombre de cylindres sur le même carter.

2° *Régularité de marche* due à la rotation d'une masse très importante, constituant un fort volant.

3° *Refroidissement automatique* du fait de la grande vitesse de rotation, qui permet aux cylindres tournants de se refroidir dans l'air brassé.

4° *Montage et démontage rapides et faciles* sur un appareil, accessibilité des divers organes.

Ordre d'allumage et nombre de cylindres.

Supposons n cylindres au moteur, répartis en une étoile régulière ; ils font entre eux un angle de $\frac{2\pi}{n}$ (fig. 6).

En deux tours, chaque cylindre accomplit un cycle complet, et comme ils travaillent simultanément, chacun d'eux aura accompli ce cycle; et nous aurons, par exemple,

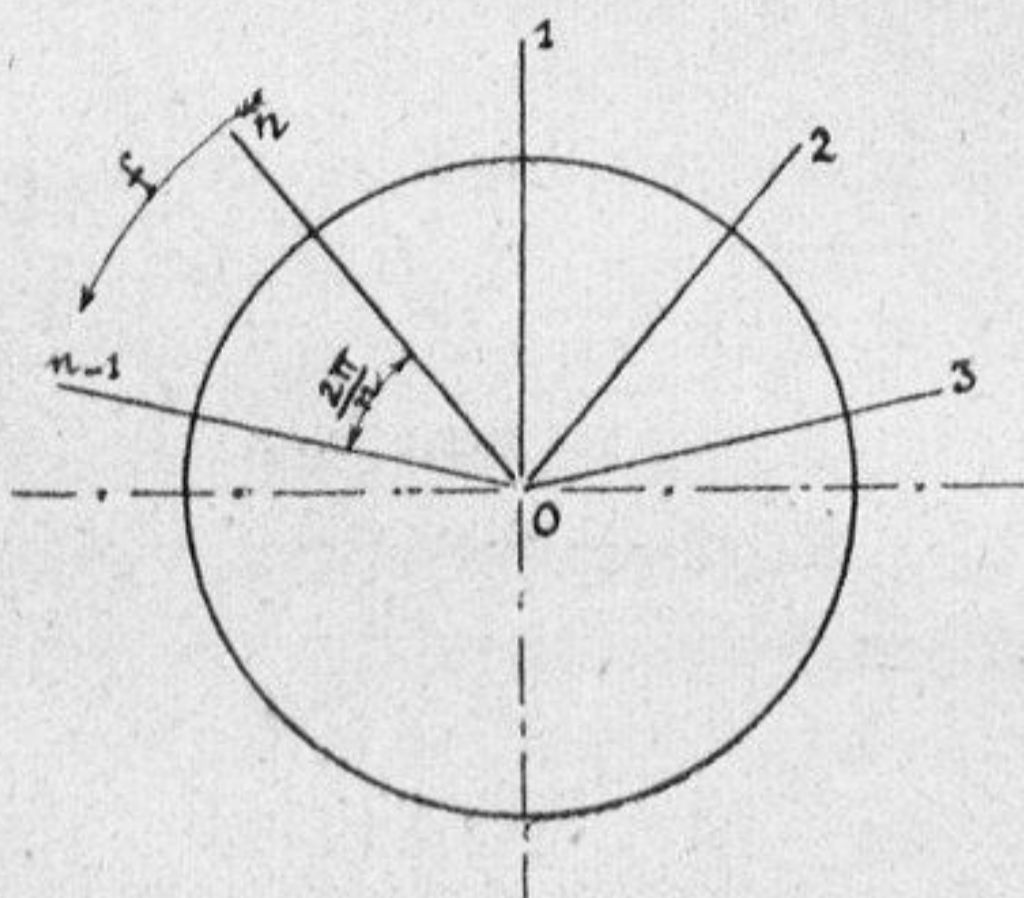


Fig. 6.

n explosions tous les deux tours. Si nous allumons les cylindres de p en p , les intervalles entre les explosions seront de $p \cdot \frac{2\pi}{n}$.

Pour deux tours, ou une rotation de 4π , nous avons n allumages qui exigent une rotation de $n \cdot p \cdot \frac{2\pi}{n}$, et nous aurons :

$$n \cdot p \cdot \frac{2\pi}{n} = 4\pi.$$

Ou, en simplifiant :

$$p = 2.$$

Les cylindres allumeront donc de deux en deux, et l'ordre d'allumage sera 1-3-5-7..... n .

On a donc une étincelle pour la rotation de $\frac{4\pi}{n}$.

Supposons (fig. 7) que le cylindre 1 allume. Après un tour, il reviendra à la même position, mais l'allumage

ne devra pas se produire, car le cylindre sera en fin d'échappement. Pour cela, il faut évidemment que 2π

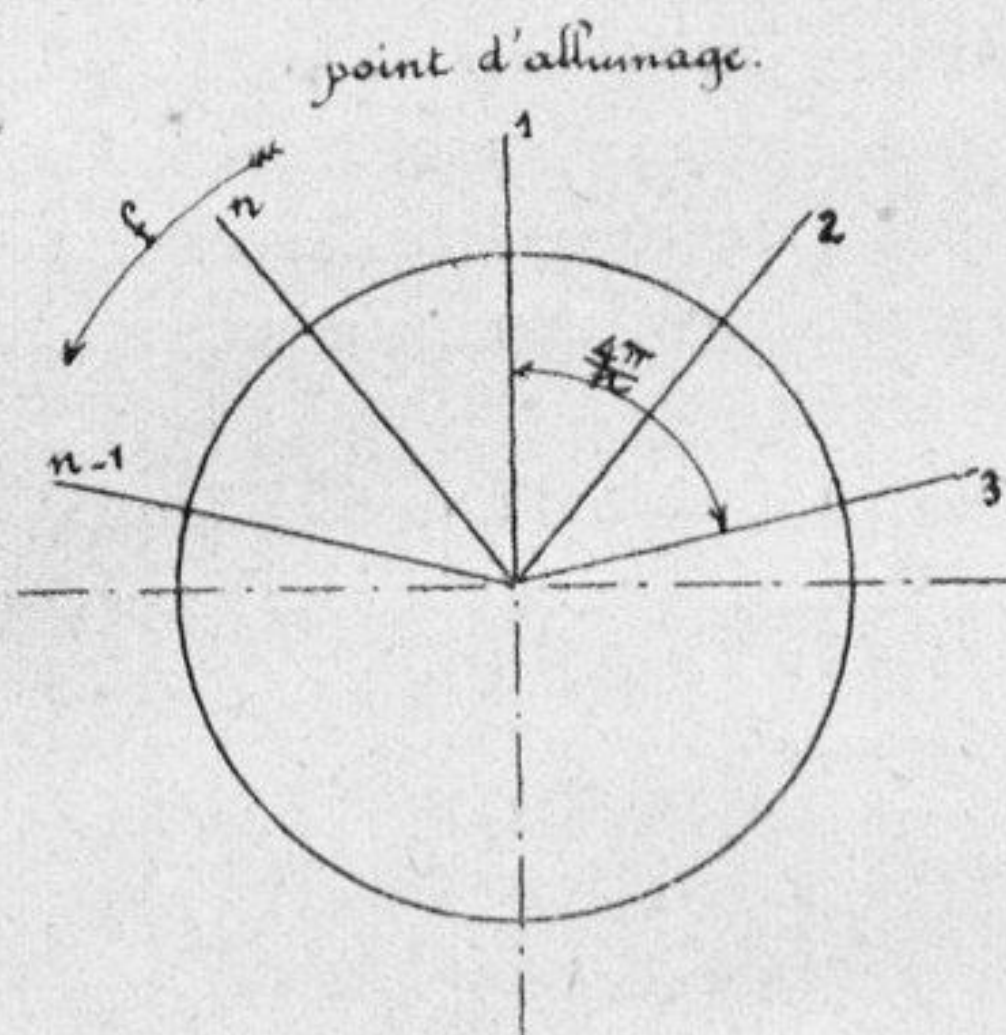


Fig. 7.

ne soit pas multiple de $\frac{4\pi}{n}$. En appelant k un nombre entier quelconque, on devra avoir :

$$2\pi \neq k \frac{4\pi}{n}$$

ou

$$k \frac{2}{n} \neq 1.$$

Si l'on avait $k \frac{2}{n} = 1$, il faudrait que $k = \frac{n}{2}$ ou, k étant entier, que n soit pair.

Il faut donc que n soit impair, c'est-à-dire que le nombre des cylindres soit impair.

Nous en concluons que, dans tout rotatif, le nombre des cylindres est impair et l'allumage se produit de deux en deux cylindres.

Étude des temps du cycle.

ADMISSION. — Les gaz sont amenés du carburateur, vissé en bout du vilebrequin, dans le carter, par l'inté-

rieur de l'arbre qui est creux. Ils subissent à l'intérieur un brassage énergique produit par le mouvement de tous les organes placés dans le carter, donnant ainsi une homogénéité parfaite au mélange et identique pour tous les cylindres. De plus, ils subissent un réchauffage, de par la température même du moteur, utile à une bonne carburation.

Les gaz passent ensuite dans la chambre d'explosion par l'intermédiaire de tuyauteries, ou pipes, qui les

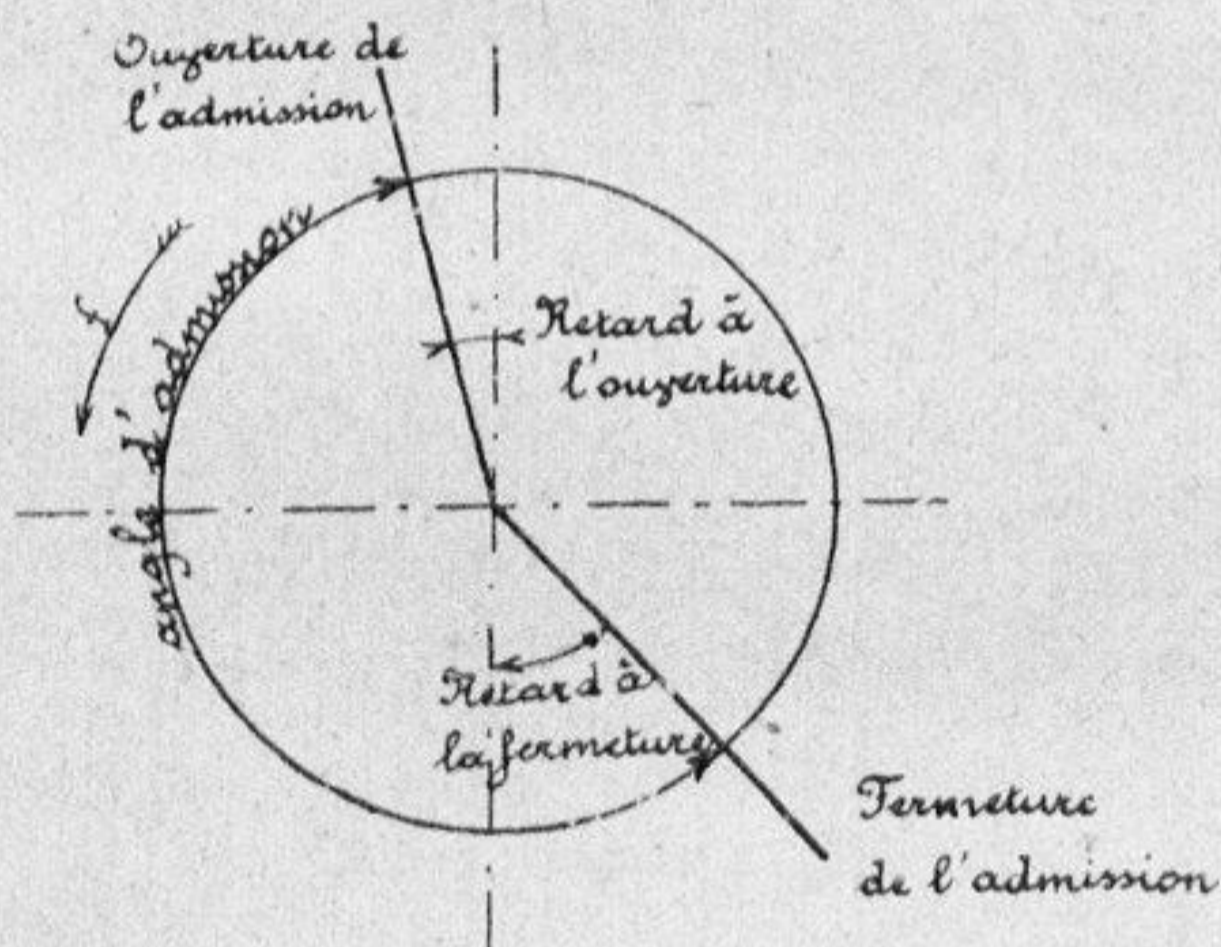


Fig. 8. — Période d'admission.

conduisent à la soupape d'aspiration, quand celle-ci est située sur le cylindre. La soupape peut être automatique et placée alors sur le fond du piston, donnant ainsi passage direct aux gaz entre le carter et le cylindre.

Les rentrées d'air, nuisibles à la carburation, doivent être évitées : les pipes sont munies de joints, et les orifices du carter, que traversent les organes de commande des soupapes, de presse-étoupe.

Comme dans les moteurs fixes, on modifie le temps théorique de l'admission par (fig. 8) :

Le retard à l'ouverture de l'admission. — La succion est ainsi plus forte, les gaz acquérant rapidement une grande vitesse par le passage brusque, au moment de l'ouverture de la soupape, de la pression à l'intérieur du carter, à la dépression produite dans le cylindre.

Le retard à la fermeture de l'admission. — La soupape est laissée ouverte après le passage au point mort bas, les gaz continuant à pénétrer dans le cylindre par l'inertie de leur masse.

Si nous considérons le diagramme (fig. 9), l'admission commence en un point A, pour lequel la pression

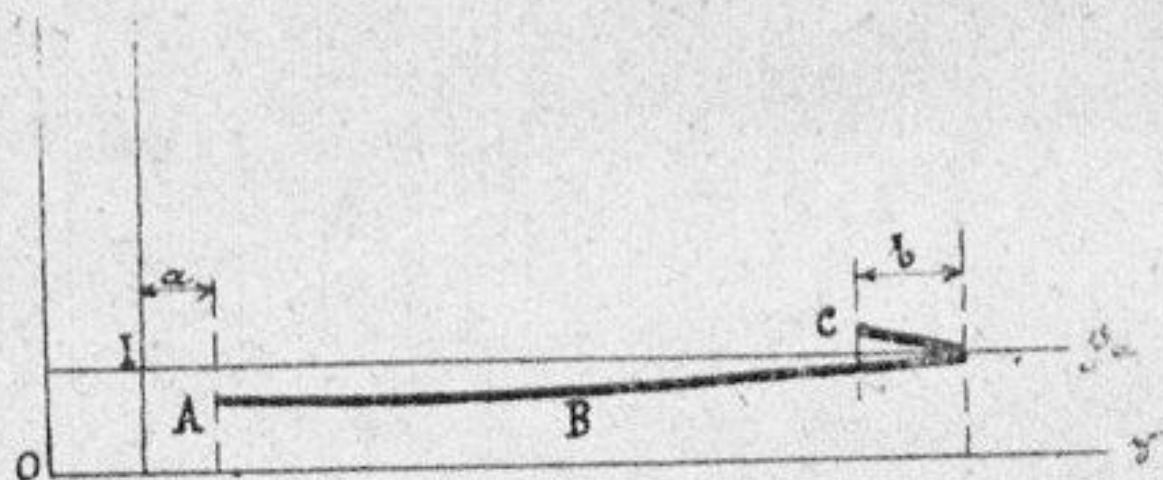


Fig. 9. — Diagramme pour l'admission.

est inférieure à la pression atmosphérique, et la distance a représente le retard à l'ouverture de l'admission. Elle finit en C, pour lequel la pression est égale à la force d'inertie des gaz, au moment de la fermeture de la soupape ; et la distance b représente le retard à la fermeture de l'admission.

Le travail dépensé pendant l'aspiration provient des frottements des pièces mécaniques et des colonnes de gaz dans leurs canalisations, ainsi que de la dépression qui se produit sur la face du piston. Ce travail est très minime et pratiquement nul.

COMPRESSION. — La compression a pour but d'augmenter le rendement thermique du moteur. Théorique-

ment, plus elle est forte, meilleur est le rendement. On est limité par l'auto-allumage, et dans les moteurs à essence, la compression ne doit pas être poussée au delà de 4,3; elle est, en général, de 4 à 4,25 (quoique dans certains moteurs fixes on est arrivé à de bons résultats avec des compressions atteignant jusqu'à 6).

La compression a, comme conséquence, une augmentation de pression et de température du gaz. Si elle

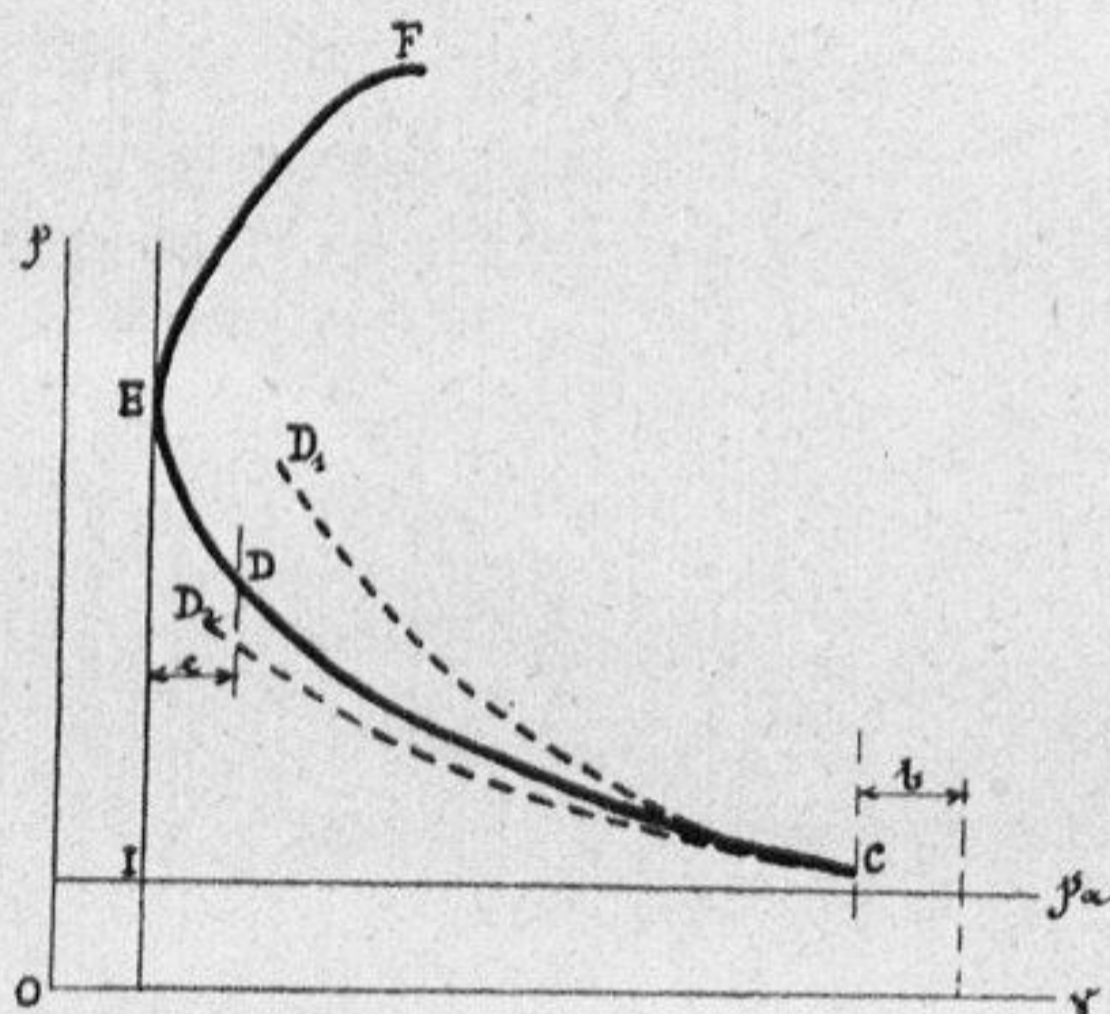


Fig. 10. — Diagramme pour la compression et l'allumage.

était *isothermique* ($pv = C^{te}$), le diagramme nous donnerait, comme courbe, la portion d'hyperbole équilatère CD₂ (fig. 10). Mais ces changements à température constante ne peuvent avoir lieu que pour des vitesses excessivement faibles du piston, la chaleur dégagée par la compression devant être exportée au dehors, à travers les parois, pour refroidir la masse gazeuse. Dans le cas des moteurs à grande vitesse du piston, l'échange se fait bien, mais il est loin d'être instantané. La transformation est plutôt *adiabatique* ($pv^\gamma = C^{te}$), avec $\gamma = 1,28$ à 1,3, c'est à-dire sans échange de chaleur avec l'extérieur, représentée sur le diagramme par la courbe CD₁.

En réalité, la courbe de compression est CD ; elle finit en D, où se produit l'allumage. La distance c représente *l'avance à l'allumage*.

Le travail de compression est donc négatif puisqu'il semble s'opposer à la rotation du moteur. Loin d'être une perte, il constitue un gain très appréciable, par l'augmentation de pression dont il est la cause après l'allumage.

L'allumage se produit donc en D et nous verrons, dans un chapitre spécial, l'avantage de cette avance. Il ne constitue pas un temps du cycle : il y a transformation d'énergie latente en énergie disponible. La pression s'élève brusquement de D en F où elle atteint 25 à 30 kilogrammes par centimètre carré.

DÉTENTE. — La détente est le *temps moteur*. Les gaz ayant atteint une forte pression, à la suite de l'explo-

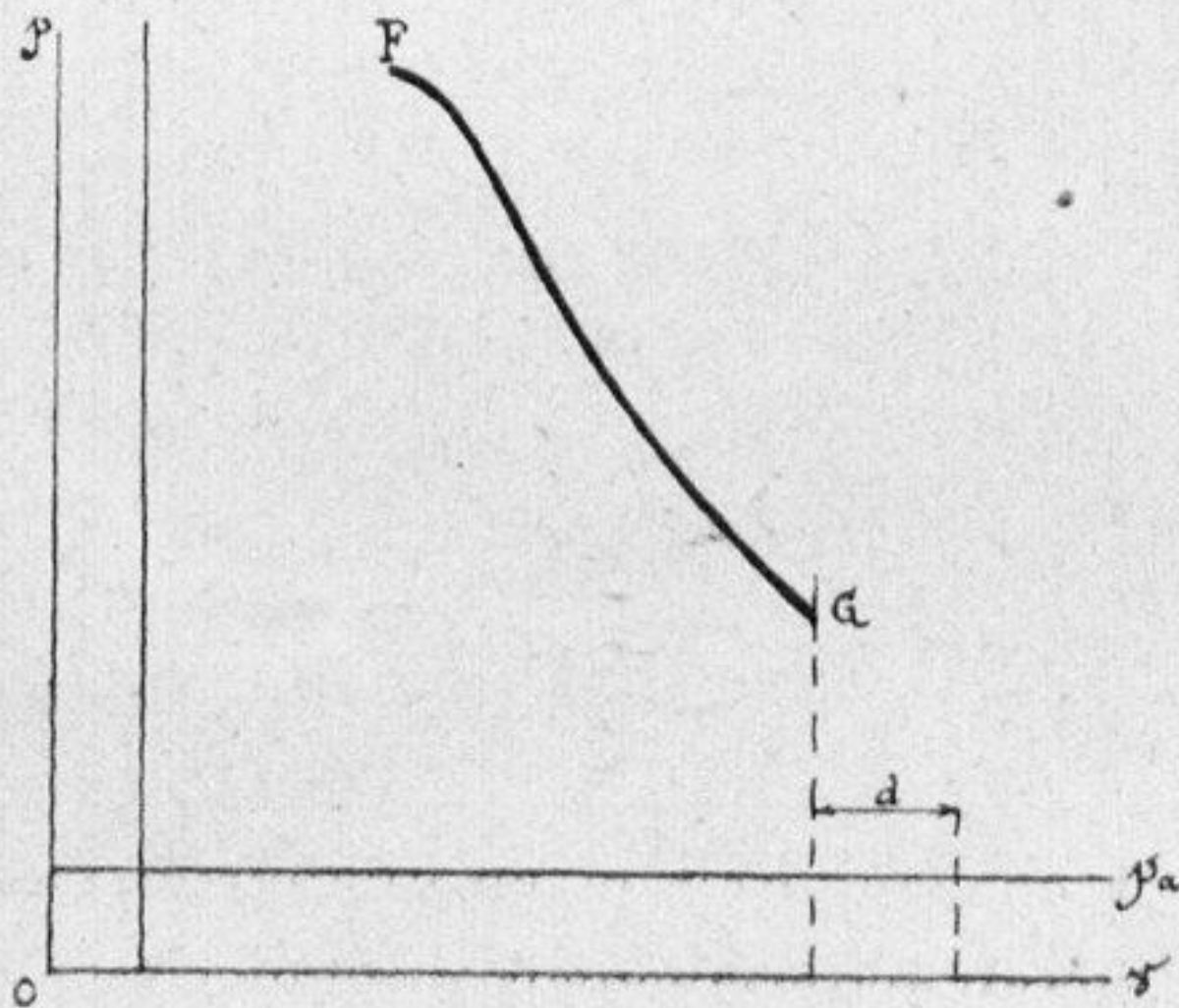


Fig. 41. — Diagramme pour la détente.

sion, chassent le piston pour se détendre. Il y a un fort abaissement de température, et la transformation est voisine de l'adiabatique, de même que pour la compression.

Elle est représentée par la courbe FG (fig. 11). ($pv_\gamma = C^{te}$ et $\gamma = 1,5$ environ : γ varie le long de la courbe et augmente quand le piston descend dans le cylindre par suite de l'influence des parois. La variation de γ est analogue pendant la compression).

La détente n'est pas poussée à fond, car il faut songer que nous avons maintenant à expulser les gaz brûlés. Elle finit en G.

ÉCHAPPEMENT. — Il y a intérêt à réduire au minimum le travail d'échappement et à expulser le plus possible

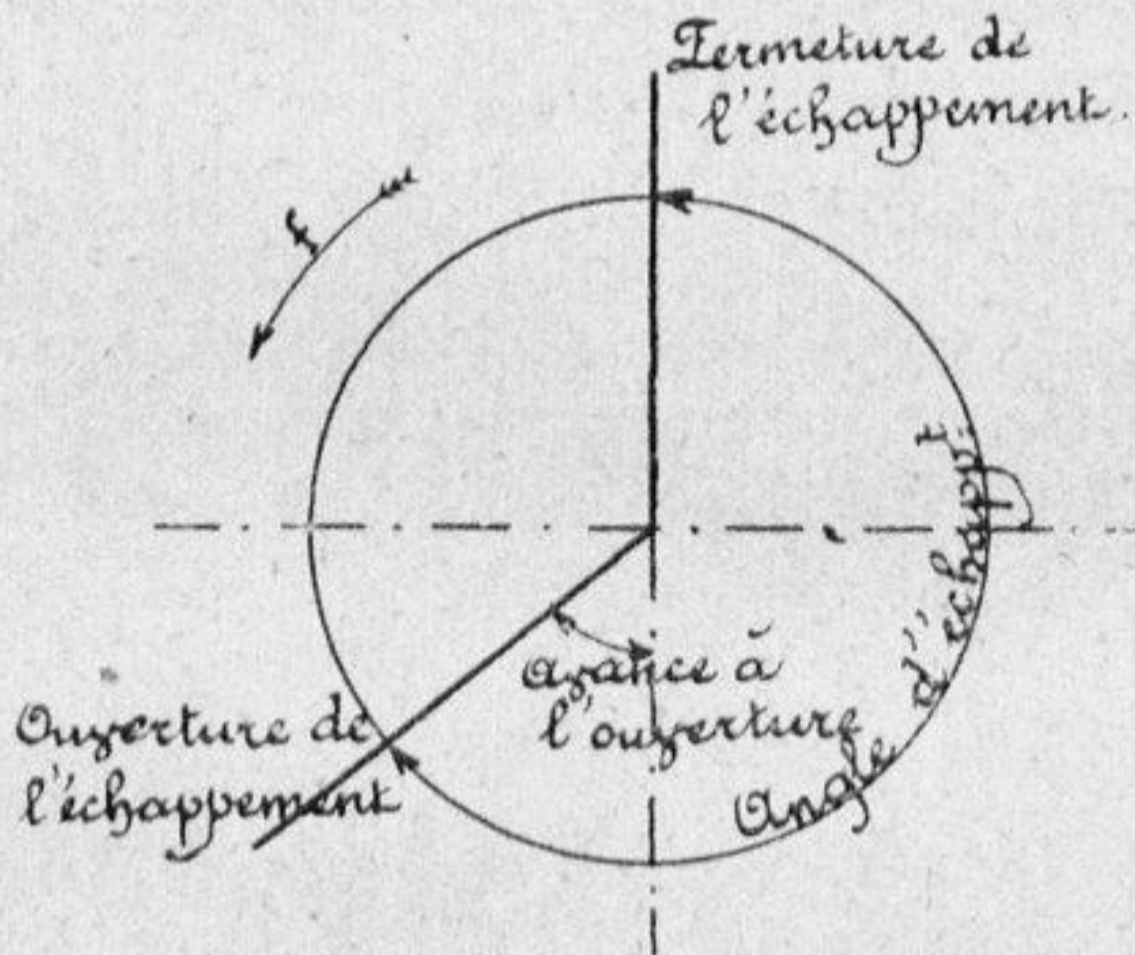


Fig. 12. — Période d'échappement.

de gaz brûlés ; car ceux qui restent dans la chambre de compression, au moment où l'admission commence, se mélangent aux gaz frais et en diminuent la richesse. On est conduit naturellement à donner aux soupapes d'échappement une section aussi grande que possible.

Le temps est modifié par *l'avance à l'ouverture de l'échappement* (fig. 12) : la soupape s'ouvre avant le passage au point mort bas et l'expulsion commence, l'écoulement des gaz se produisant par la différence de

pression entre l'intérieur et l'extérieur du cylindre, quoique le déplacement du piston les sollicite en sens

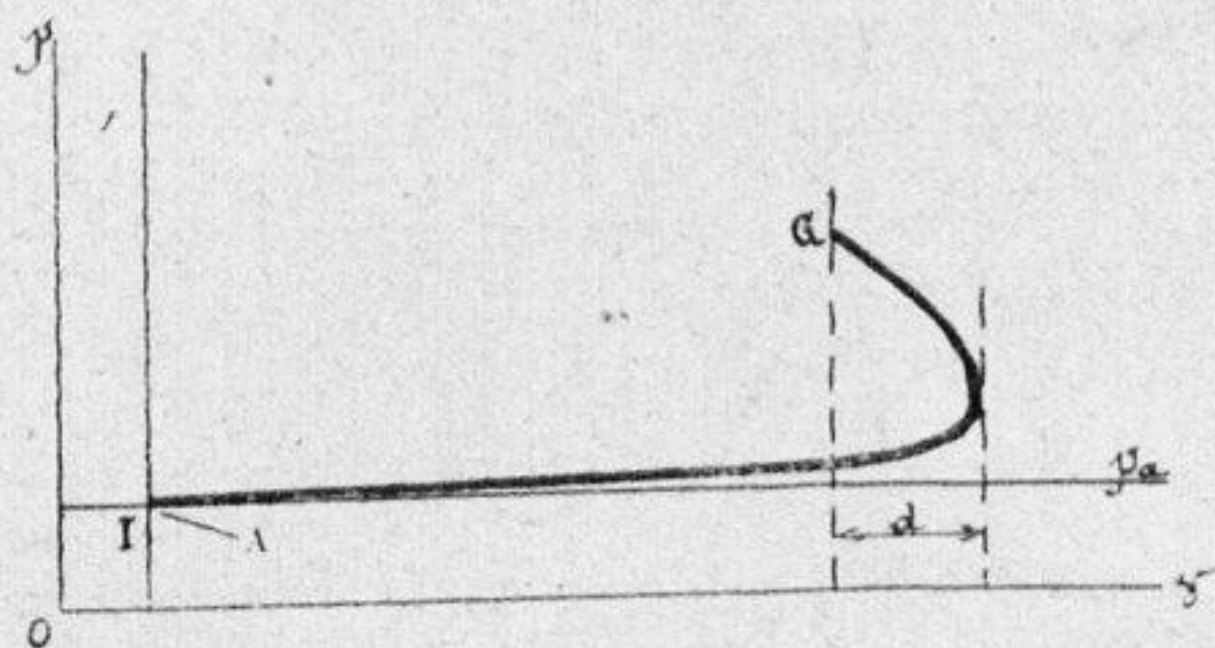


Fig. 13. — Diagramme pour l'échappement.

inverse ; d'où l'avantage à ne pas pousser trop loin la détente.

Après le passage au point mort bas, le piston remonte dans le cylindre et chasse devant lui, sans effort appré-

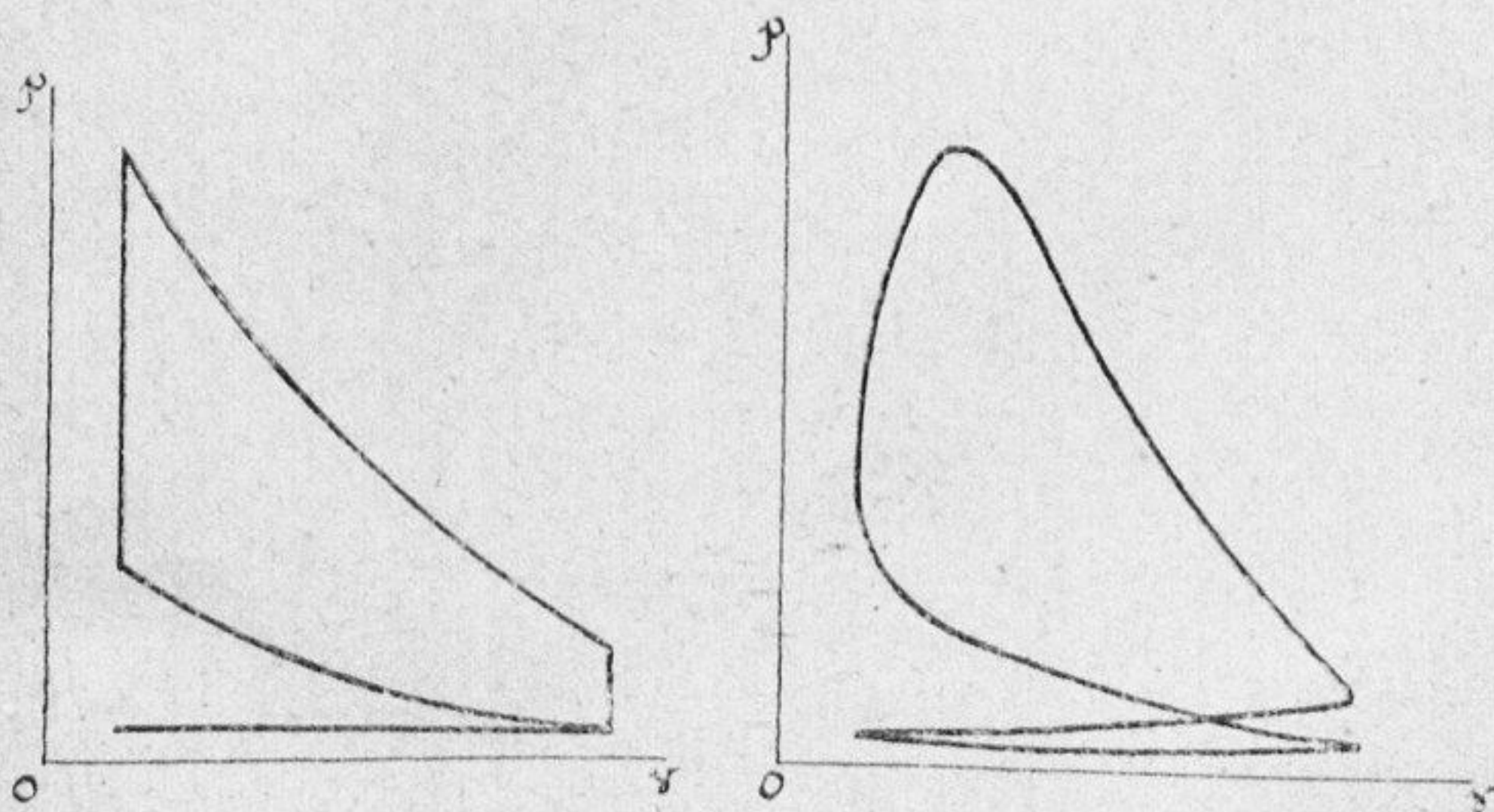


Fig. 14.

Diagramme théorique.

Diagramme réel.

ciable, les gaz restant à faible pression. La fermeture de l'échappement se fait aux environs du point mort haut, jamais avant son passage, mais dans tous les cas avant

l'ouverture de l'admission, pour empêcher *les retours au carburateur*.

L'échappement se fait à l'air libre. Il y a quelques difficultés à récupérer complètement les gaz de l'échappement. Cependant, à l'aide de tuyauteries, épanouies dans la zone de l'échappement, on fait des prises de chaleur pour réchauffer l'huile ou le carburateur.

La courbe d'échappement GA ferme le cycle (fig. 13) et la figure 14 nous donne l'aspect des diagrammes théorique et réel.

REMARQUE. — L'axe du moteur étant en O (fig. 15) on a le choix, pour la fixation du moteur sur un appareil,

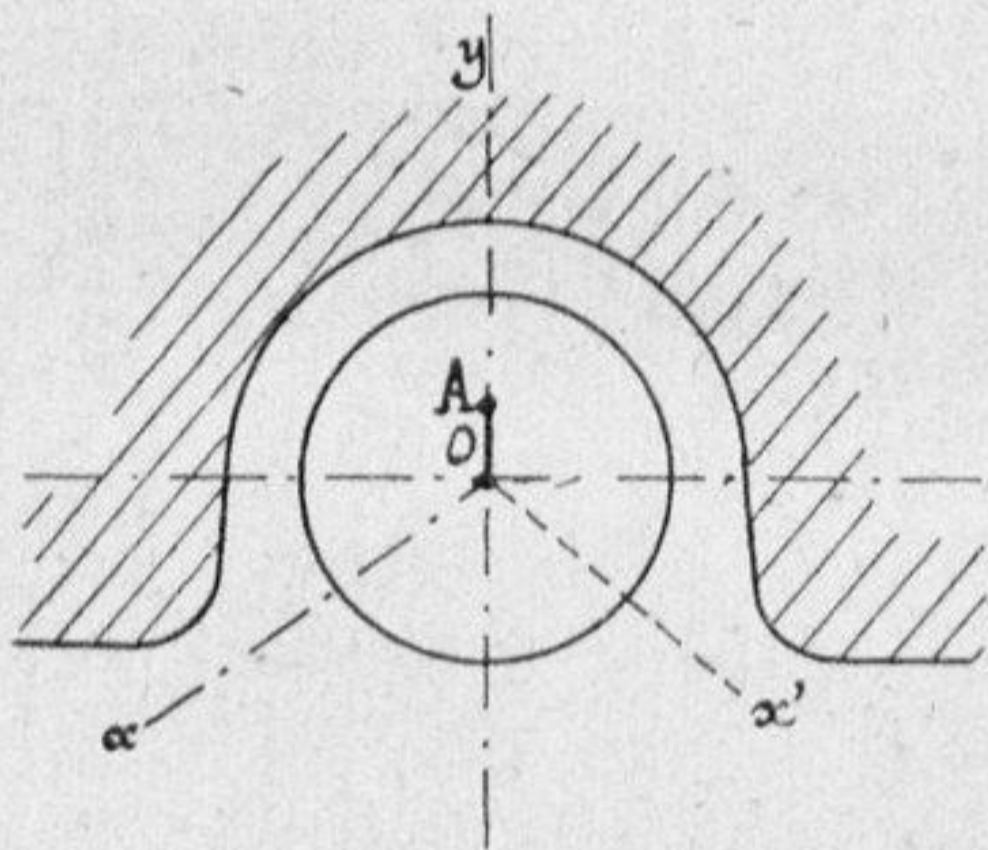


Fig. 15. — Position du maneton OA.

pour la position du centre fixe A de rotation des bielles. Remarquons que sur la plupart des appareils, un capot recouvre les cylindres, suivant la partie hachurée, pour éviter les projections d'huile dans la nacelle. Pour ne pas gêner l'expulsion des gaz de l'échappement et éviter leur projection contre les réservoirs placés généralement immédiatement derrière le moteur, on dispose celui-ci avec le centre A sur la verticale du point O,

et au-dessus de ce point. De cette façon, l'échappement commençant vers l'axe Ox , finissant sur Oy , la plus grande partie des gaz sont évacués dans l'intervalle Ox, Ox' et peuvent s'échapper librement.

Cas particulier du cycle à quatre temps.

Le moteur monosoupape Gnome présente une particularité dans la réalisation du cycle. Notons d'abord que ce moteur fonctionne avec une seule soupape, celle d'échappement, montée sur le fond du cylindre (fig. 16). L'admission des gaz frais, très riches, est faite automatiquement par les pistons, vers la fin de course. La soupape d'échappement reste ouverte, après le point mort haut, pour faire entrer dans le cylindre l'air frais nécessaire à la carburation parfaite des gaz riches, admis pendant le temps très court où les orifices du cylindre sont découverts par le piston. Pour créer la dépression nécessaire à l'entrée des gaz, la soupape d'échappement ferme un peu avant que les orifices soient découverts. Nous observons les phases suivantes (fig. 17) :

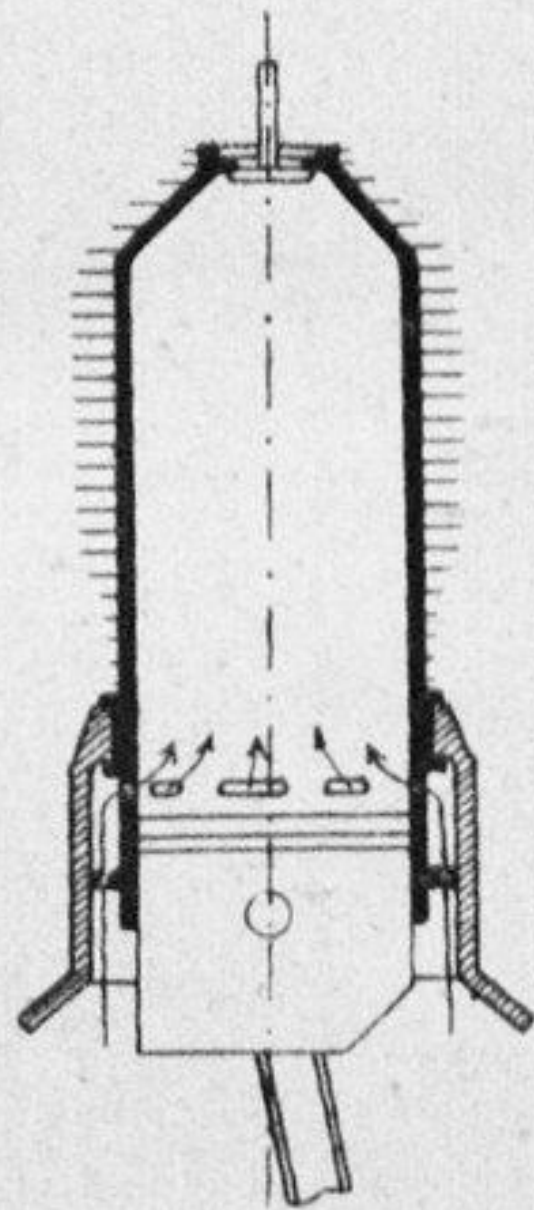


Fig. 16. — Cylindre monosoupape.

1° ALLUMAGE. — Au point A, avec 15° d'avance.

2° DÉTENTE. — Jusqu'en C.

3° ÉCHAPPEMENT. — Représenté par l'arc CDEF. L'avance à l'ouverture de l'échappement est de 90° .

4° **ADMISSION D'AIR.** — Représentée par l'arc FGH. La soupape d'échappement reste ouverte jusqu'en H, pendant la course descendante du piston, donnant passage à l'air frais aspiré de l'extérieur. Le retard à la fermeture de la soupape d'échappement est 120° .

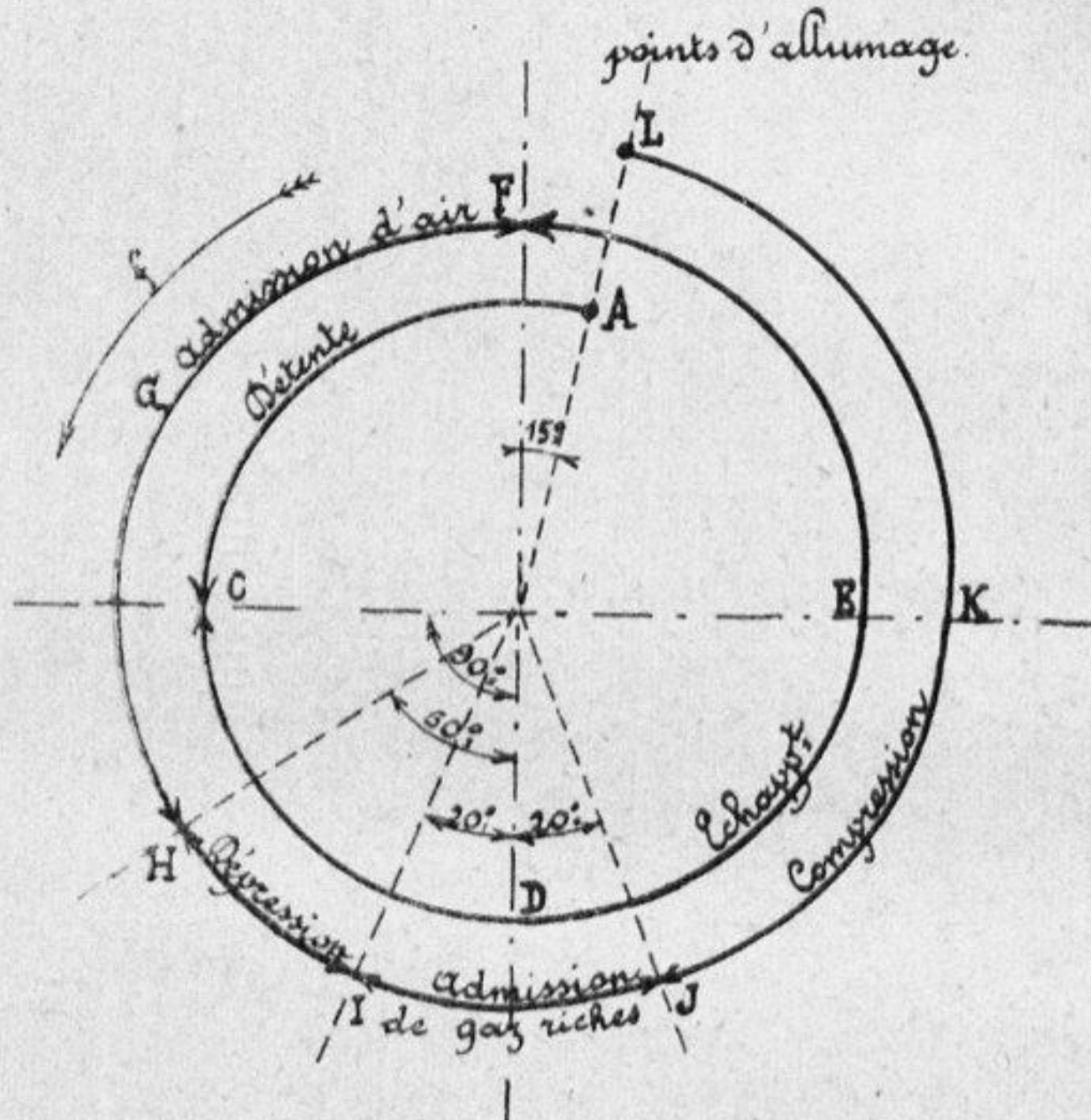


Fig. 17. — Phases du cycle du monosoupape.

5° **DÉPRESSION** dans le cylindre, suivant l'arc HI. La soupape étant fermée et les orifices du cylindre obturés par le piston, une dépression se produit à l'intérieur de la chambre.

6° **ADMISSION DES GAZ RICHES.** — Au point I, 20° avant le point mort bas, les orifices sont dégagés par le piston pendant un temps correspondant à l'arc IJ (J, 20° après le point mort bas). Les gaz riches du carter, aspirés par dépression, pénètrent à l'intérieur de la

chambre et constituent, en se mélangeant à l'air précédemment admis, le mélange convenable pour la cylindrée.

7° COMPRESSION. — Les orifices se trouvant de nouveau fermés en J, à la course ascendante du piston, les gaz sont comprimés suivant l'arc JKL, jusqu'en L, où se produit l'allumage.

Tableau des réglages de divers moteurs.

MOTEURS	PUISSANCE	NOMBRE de cylindres.	ADMISSION		ÉCHAPPEMENT		AVANCE à l'allumage.
			Retard ouverture	Retard fermeture.	Retard ouverture.	Retard fermeture.	
Gnome . . .	80	7	automatique.		64°	5°	26°
Mono-gnome.	100	9	sans soupape.		90°	120°	15°
Rhône . . .	60	7	18°	35°	45°	5°	26°
— . . .	80	9	»	»	»	»	»
— . . .	110	9	»	»	55°	»	»
Clerget . . .	60	7	P. M.	50°	64°	P. M.	22°
— . . .	80	7	»	»	»	»	»
— . . .	120	9	»	»	»	»	»

REMARQUE. — Notons qu'il a été établi des moteurs à cylindres désaxés qui semblent présenter les avantages du désaxement. Mais ces moteurs n'ont pas fait leurs preuves et nous ne nous y arrêterons pas.

CHAPITRE II

ÉTUDE CINÉMATIQUE

Soit un moteur rotatif tournant d'une vitesse angulaire constante ω , autour du point O (fig. 18). L'axe de rotation des bielles est P et l'on a :

$$\text{course} = 2.OP = 2l.$$

Considérons un cylindre, son piston, sa bielle. Quand l'axe Ox du cylindre fait un angle α avec la verticale zz' ,

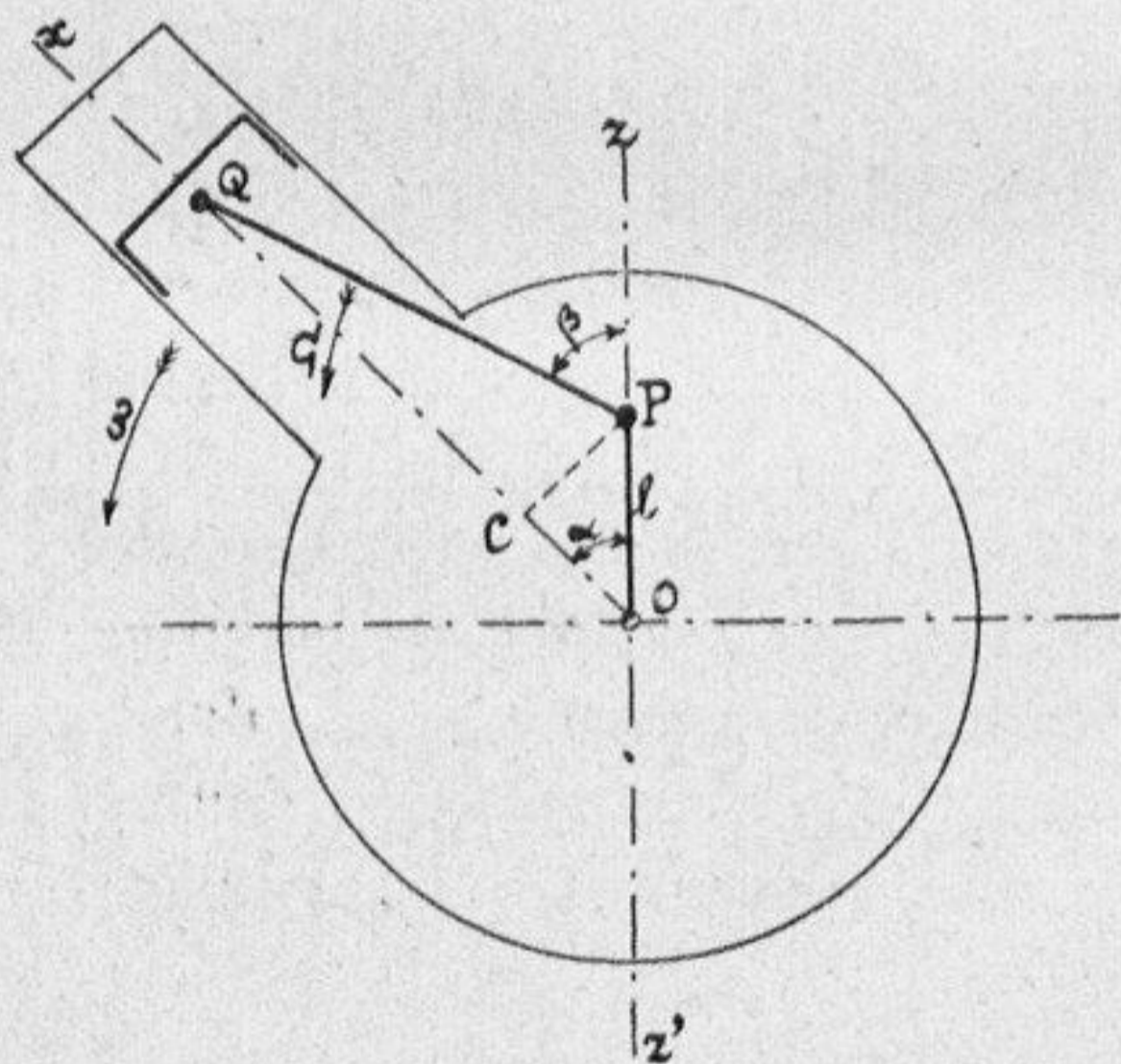


Fig. 18.

la bielle PQ fait un angle β avec zz' , et le triangle OPQ fournit la relation :

$$\frac{PQ}{\sin \alpha} = \frac{OP}{\sin (\beta - \alpha)}.$$

D'où :
$$\sin (\beta - \alpha) = \frac{OP}{PQ} \sin \alpha. \quad (1)$$

Le développement nous donne :

$$\sin \beta. \cos \alpha - \sin \alpha. \cos \beta = \frac{OP}{PQ} \sin \alpha.$$

Différentions :

$$\begin{aligned} - \sin \beta. \sin \alpha. d\alpha + \cos \alpha. \cos \beta. d\beta + \sin \alpha. \sin \beta. d\beta - \\ - \cos \beta. \cos \alpha. d\alpha = \frac{OP}{PQ} \cos \alpha. d\alpha. \end{aligned}$$

Mettons $d\alpha$ et $d\beta$ en facteur et divisons par dt :

$$\begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} (\cos \alpha. \cos \beta + \sin \alpha. \sin \beta) = \\ = \frac{d\alpha}{dt} \left(\frac{OP}{PQ} \cos \alpha + \sin \beta. \sin \alpha + \cos \beta. \cos \alpha \right). \end{aligned}$$

Or,
$$\frac{d\beta}{dt} = \Omega, \quad \frac{d\alpha}{dt} = \omega.$$

et
$$\cos \alpha. \cos \beta + \sin \alpha. \sin \beta = \cos (\beta - \alpha).$$

D'où :
$$\Omega [\cos (\beta - \alpha)] = \omega \left[\frac{OP}{PQ} \cos \alpha + \cos (\beta - \alpha) \right]$$

Ce qui donne :

$$\Omega = \omega. \frac{OP. \cos \alpha + PQ. \cos (\beta - \alpha)}{PQ. \cos (\beta - \alpha)}$$

Posons : $OP = l$ et $PQ = a.$

Il vient :
$$\Omega = \omega. \frac{l. \cos \alpha + a. \cos (\beta - \alpha)}{a. \cos (\beta - \alpha)}. \quad (2)$$

De P, abaissons PC perpendiculaire sur OQ. Le triangle OCP donne :

$$OC = l. \cos \alpha, \quad \text{d'où} \quad \cos \alpha = \frac{OC}{l}.$$

Le triangle PCQ donne :

$$CQ = a. \cos (\beta - \alpha), \quad \text{d'où} \quad \cos (\beta - \alpha) = \frac{CQ}{a}.$$

L'égalité (1) devient :

$$\Omega = \omega. \frac{OC + CQ}{CQ} = \omega. \frac{OQ}{CQ}.$$

ω étant constant, Ω varie comme le rapport $\frac{OQ}{CQ}$

Courbe des variations de Ω :

Pour $\alpha = 0, \beta = 0, OQ = a + l, CQ = a.$

et
$$\Omega = \omega \frac{a + l}{a}.$$

Pour $\alpha = 180^\circ, \beta = 180^\circ, OQ = a - l, CQ = a.$

et
$$\Omega = \omega \frac{a - l}{a}.$$

On aura $\Omega = \omega$ pour $\frac{OQ}{CQ} = 1$ ou $OQ = CQ$, ce qui a lieu pour $\alpha = 90^\circ$ et $\alpha = 270^\circ$. La courbe $\Omega = f(\alpha)$ est sinusoïdale. La figure 19 nous montre les variations.

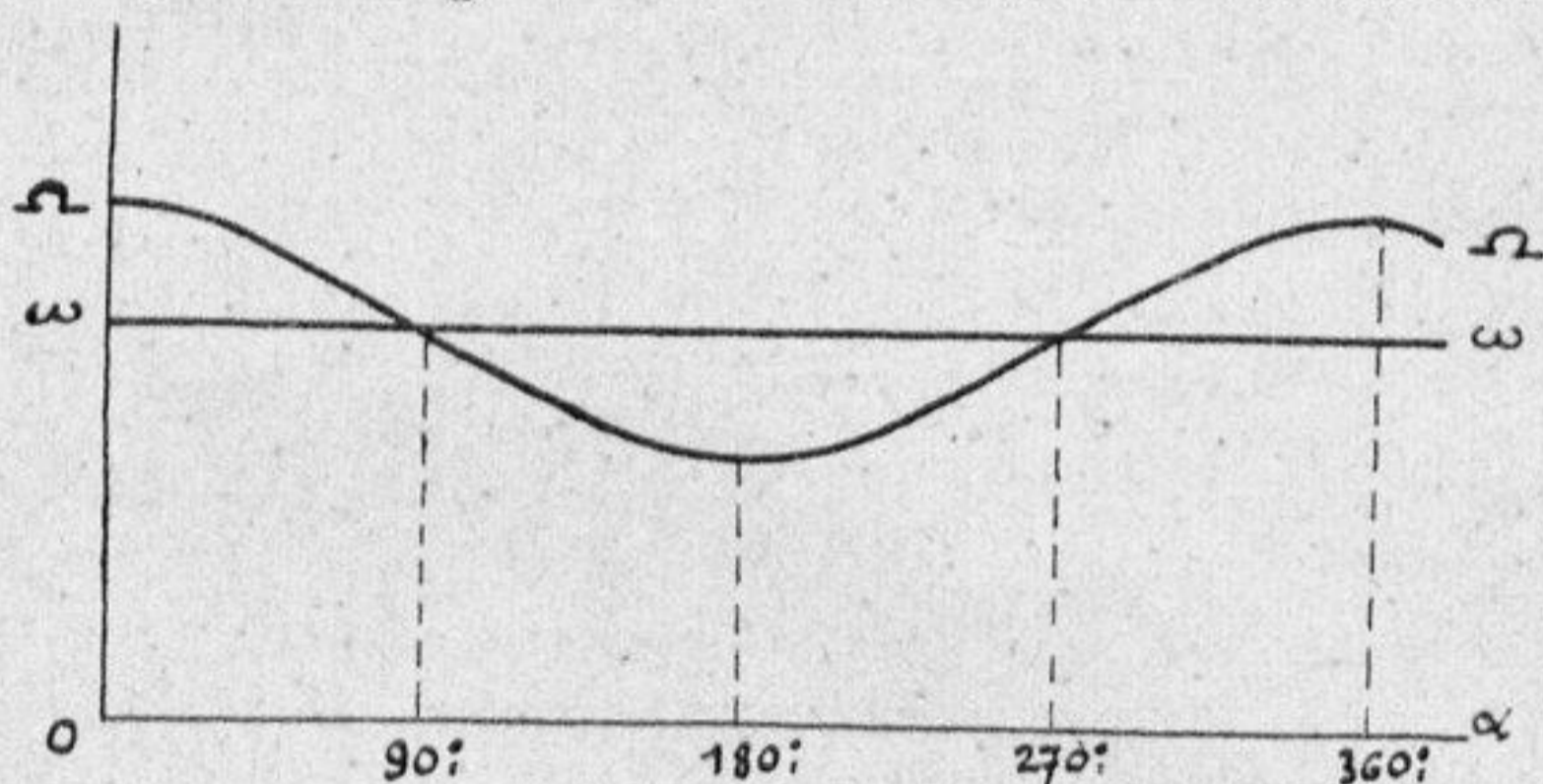


Fig. 19. — Courbe des variations de Ω .

Graphiquement, C est le centre instantané de rotation du piston, ce qui permet de déduire immédiatement :

$$\frac{\Omega}{\omega} = \frac{OQ}{CQ}.$$

ou

$$\Omega = \omega \frac{OQ}{CQ}.$$

Accélérations.

Considérons la figure 20. L'accélération totale est A , inclinée sur l'axe de la bielle d'un angle γ , tel que :

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{l}{c}.$$

t étant l'accélération tangentielle,

$$t = \frac{d\Omega}{dt},$$

et c étant l'accélération centripète,

$$c = \frac{v^2}{R}.$$

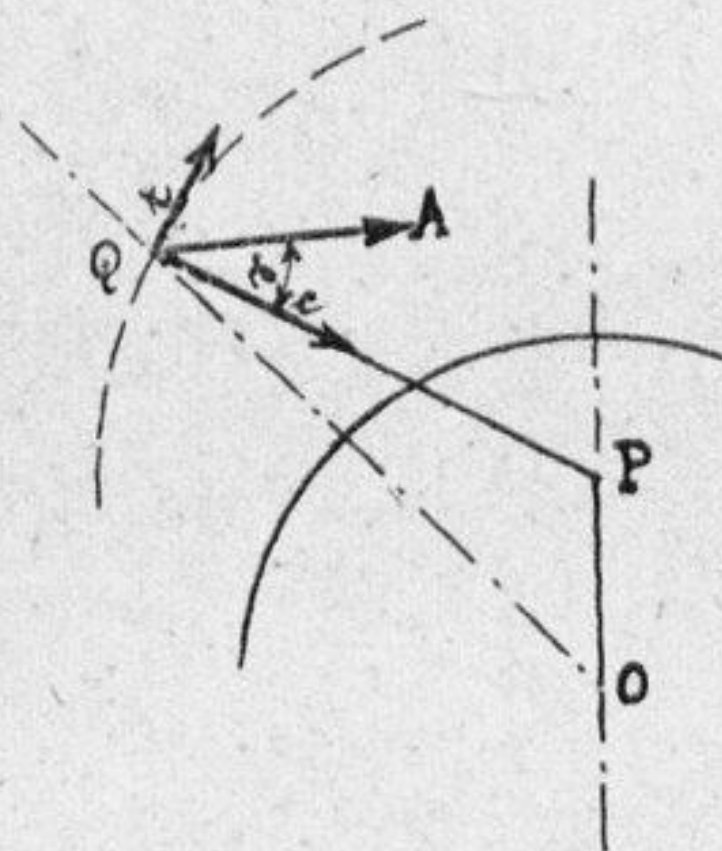


Fig. 20. — Accélérations.

ACCÉLÉRATION TANGENTIELLE.

— C'est la dérivée seconde de (1) par rapport au temps, ou la dérivée première de la vitesse Ω (2).

$$\begin{aligned} \text{On a trouvé : } \Omega &= \omega \frac{l \cos \alpha + a \cos (\beta - \alpha)}{a \cos (\beta - \alpha)} & (2) \\ &= \omega \frac{l \cos \alpha}{a \cos (\beta - \alpha)} + \omega. \end{aligned}$$

La dérivée de Ω est donc la dérivée de $\frac{\omega l}{a} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos (\beta - \alpha)}$ puisque la dérivée d'une constante est nulle.

Cherchons donc $d. [\cos (\beta - \alpha)]$.

On a : $\cos (\beta - \alpha) = \cos \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot \sin \alpha$.

$$\begin{aligned} d [\cos (\beta - \alpha)] &= -\sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot d\beta - \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot d\alpha + \\ &\quad + \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot d\beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot d\alpha \\ &= d\alpha (\cos \alpha \cdot \sin \beta - \sin \alpha \cdot \cos \beta) + \\ &\quad + d\beta (\cos \beta \cdot \sin \alpha - \sin \beta \cdot \cos \alpha) \\ &= d\alpha \sin (\beta - \alpha) - d\beta \sin (\beta - \alpha). \end{aligned}$$

On a donc pour $d\Omega$:

$$d\Omega = \frac{\omega l}{a} d. \left[\frac{\cos \alpha}{\cos (\beta - \alpha)} \right].$$

Après développement on a :

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{\omega l}{a \cos^2 (\beta - \alpha)} \cdot [\Omega \cdot \cos \alpha \cdot \sin (\beta - \alpha) - \omega \cdot \sin \beta]$$

Or, on a trouvé :

$$\cos \alpha = \frac{OC}{l}, \quad \cos (\beta - \alpha) = \frac{CQ}{a}.$$

$$AQ = a \sin \beta. \quad \text{D'où} \quad \sin \beta = \frac{AQ}{a}.$$

$$PC = a \sin (\beta - \alpha). \quad \text{D'où} \quad \sin (\beta - \alpha) = \frac{PC}{a}.$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{\omega l}{CQ} \left[\Omega \cdot \frac{OC \cdot PC}{l} - \omega \cdot AQ \right].$$

C'est la valeur de t .

Pour $\alpha = 0$, $PC = 0$, $AQ = 0$ et $t = 0$.

Pour $\alpha = 180^\circ$, $t = 0$.

La courbe $t = f(\alpha)$ a une allure sinusoïdale. On

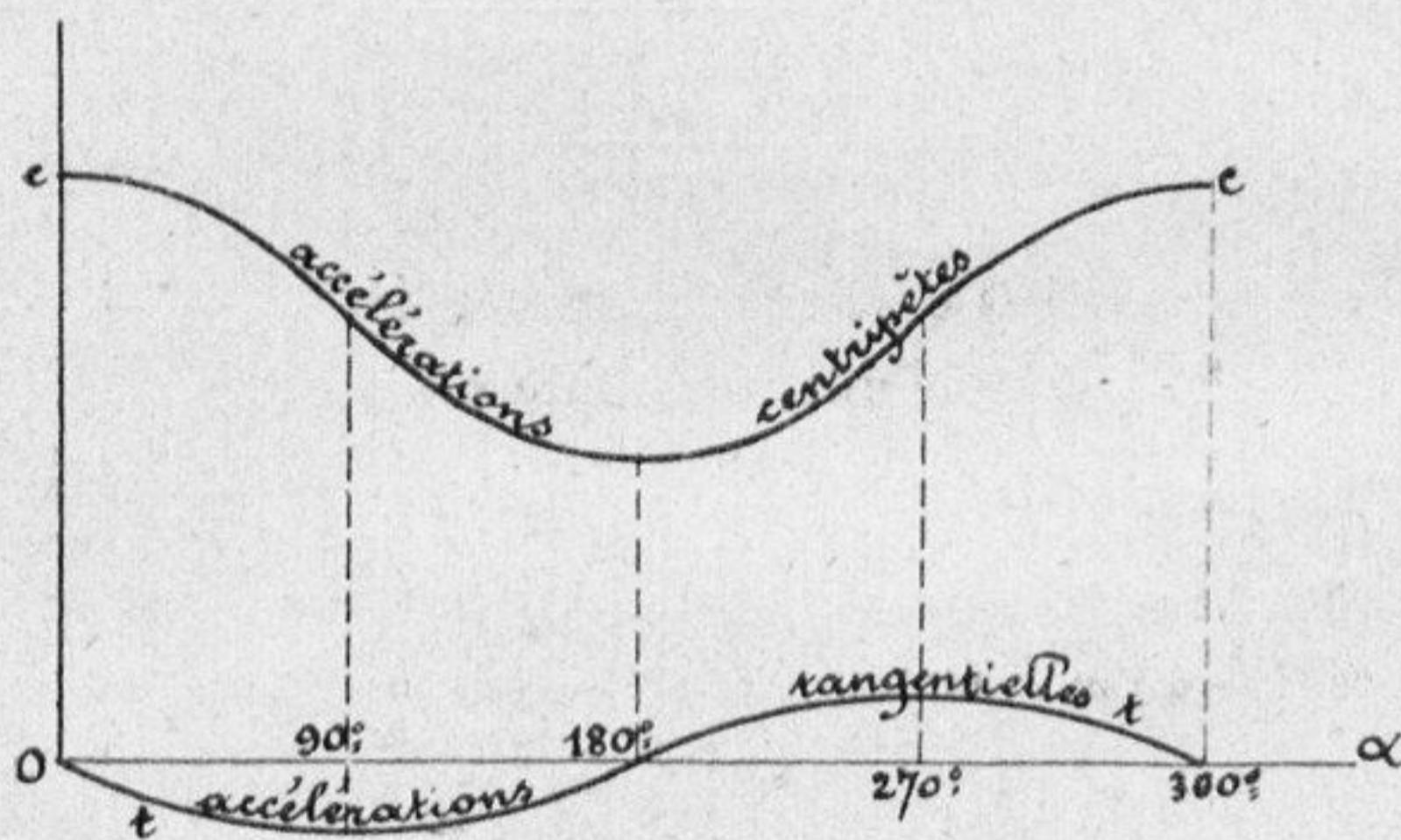


Fig. 21. — Courbes des accélérations.

obtient les maximums et les minimums pour les valeurs de α qui annulent la dérivée.

La courbe est représentée (fig. 21).

ACCÉLÉRATION CENTRIPÈTE.

Sa valeur est $\frac{v^2}{R}$.

$$\text{Or,} \quad v = \Omega \cdot PQ.$$

$$R = PQ.$$

$$\text{D'où :} \quad c = \frac{v^2}{R} = \Omega^2 \cdot PQ.$$

La courbe $c = f(x)$ est représentée (fig. 21).

Nous avons calculé les vitesses et accélérations de la bielle. Ces valeurs nous serviront lors du calcul des forces d'inertie dans l'étude dynamique. Pour le moment, nous allons continuer le chapitre par l'étude des distributions, qui est du domaine de la cinématique pratique.

LA DISTRIBUTION

La distribution est le mécanisme qui permet la réalisation du cycle du moteur. Elle comprend des organes, commandés par la rotation du moteur, qui ont pour effet d'ouvrir et de fermer les soupapes aux moments convenables. Ces organes sont (fig. 22) :

Les cames, pièces en rotation, munies de bossages et commandées directement ou indirectement par le moteur, par l'intermédiaire d'engrenages.

Les galets qui roulent sur les cames en suivant leur contour.

Les poussoirs traversant le carter par un presse-

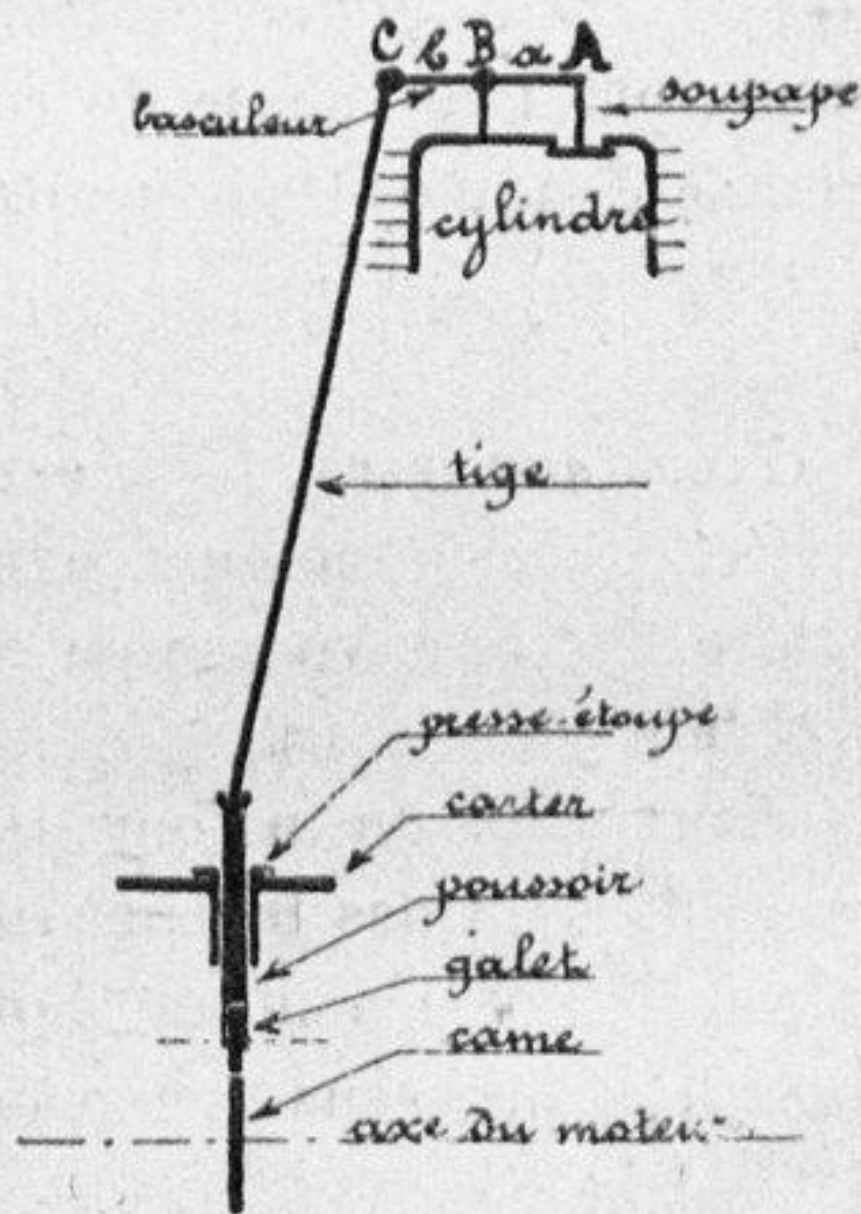


Fig. 22. — Mécanisme de commande des soupapes.

étoupe, et sur lesquels sont montés les galets.

Les tiges qui transmettent le mouvement extérieurement au carter.

Les basculeurs ou leviers fixés sur le cylindre, l'extrémité d'un bras de levier étant actionnée par la tige, l'autre extrémité commandant la soupape.

Les cames.

Les cames se distinguent de par leur fonction, suivant qu'elles commandent l'admission ou l'échappement. Nous distinguerons dans chaque catégorie :

Les cames multiples. Chacune commandant sa soupape.

La came unique à plusieurs bossages, assurant à elle seule, par une vitesse de rotation appropriée, la commande de toutes les soupapes de même catégorie.

Les cames conjuguées.

CAMES MULTIPLES. — C'est le même cas que dans la généralité des moteurs fixes, mais leur montage est différent et leur vitesse en d'autres rapports.

Il faut que la came soulève sa soupape une fois tous les deux tours du moteur. Il en résulte de suite que la came ne peut pas tourner en sens inverse du moteur, ni être fixe. On peut alors imaginer une came tournant dans le même sens que le moteur et de deux manières différentes :

1° *Plus vite,* faisant trois tours quand le moteur en fait deux. Cette disposition entraîne à une grande vitesse de rotation de la came et à des bossages très réduits, qui s'useront donc plus rapidement et seront de contours moins précis, étant plus minimes.

2° *Plus lentement*, faisant un tour quand le moteur en fait deux. La vitesse de rotation étant plus faible, l'usure sera diminuée, les dimensions des bossages seront plus grandes et les contours pourront être tracés avec plus de précision.

Calage des cames. — Considérons (fig. 23) un moteur de n cylindres tournant dans le sens de la flèche f , le

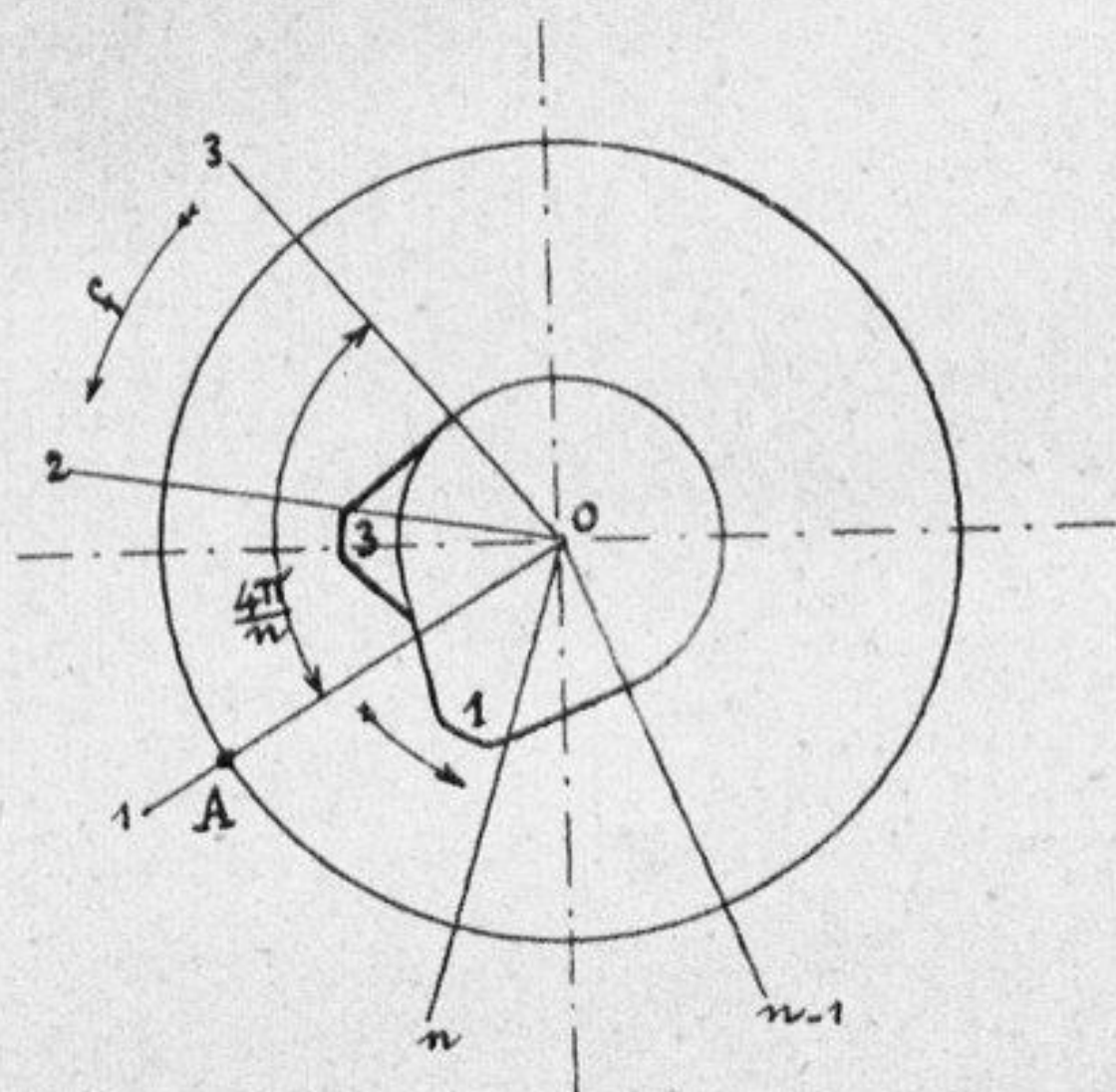


Fig. 23. — Calage des cames.

cylindre 1 ayant la soupape d'échappement qui commence à ouvrir en A. Après une rotation de $\frac{4\pi}{n}$, dans le sens de la flèche, le cylindre 3 sera en A et devra commencer à échapper. Donc, en examinant le bloc des cames, on devra voir, en sens inverse de la rotation, les bossages des cames dans l'ordre 1-3-5..... n , identique à l'ordre d'allumage des cylindres.

Commande de la came. — Pour une came faisant un tour quand le moteur en fait deux, la commande se fera par train planétaire de raison $\frac{1}{2}$. Voici comment est réalisé le mouvement :

Un pignon A (fig. 24) est claveté en bout du vilebrequin fixe. Un pignon B est monté fou sur un axe

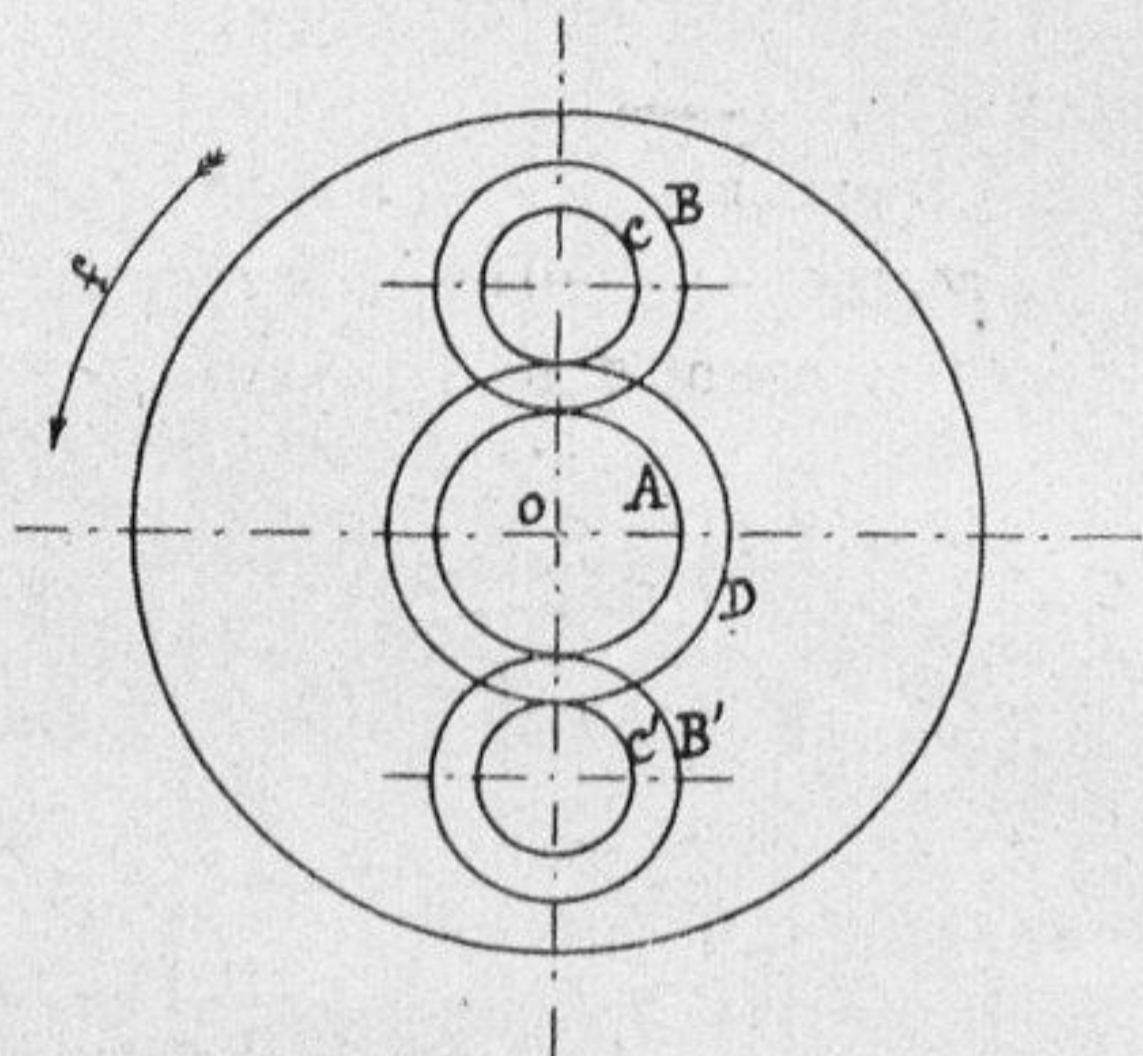


Fig. 24. — Commande des cames.

fixé sur la flasque du nez du moteur, qui tourne avec lui. Ce pignon B est solidaire d'un troisième pignon C,

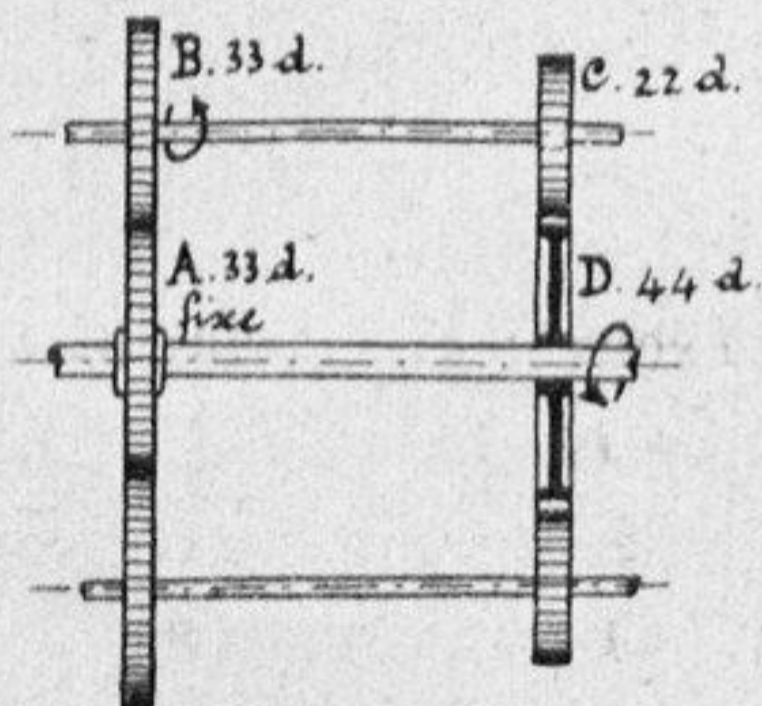


Fig. 24 bis. — Commande Gnome.

qui engrène avec le pignon D monté fou sur le vilebrequin. D est solidaire d'une douille sur laquelle sont clavetées les cames dans l'ordre examiné plus haut.

Pour l'équilibrage et pour la symétrie dans la répartition des efforts sur le vilebrequin, un groupe (B', C') de deux pignons, identique

à (B, C), est monté symétriquement, par rapport à O, sur la flasque du nez du moteur.

C'est le genre de la distribution Gnome. Le pignon A a 33 dents; B, 33 également; C en a 22 et D en

a 44, ce qui donne bien pour raison : $\frac{1}{2}$ (fig. 24 bis).

Hauteur du bossage de la came (fig. 22). — Appelons h la levée de la soupape. Quand le galet touche le noyau de la came, le levier ABC est distant de la queue de la soupape d'une quantité j , qui est le jeu nécessaire pour permettre les dilatations et éviter les coincements, afin que la soupape ne soit ouverte qu'en temps utile.

Pour l'ouverture, A s'abaissera de $h + j$, C s'élèvera de $(h + j) \frac{b}{a}$. D et le galet s'élèveront aussi de $(h + j) \frac{b}{a}$.

De sorte que la hauteur du bossage de la came au-dessus du noyau sera de :

$$l = (h + j) \frac{b}{a}.$$

Tracé de la came. — Supposons que l'échappement commence quand le cylindre correspond à l'axe fixe Ox (fig. 23) et finit quand il correspond à Oy . L'angle pen-

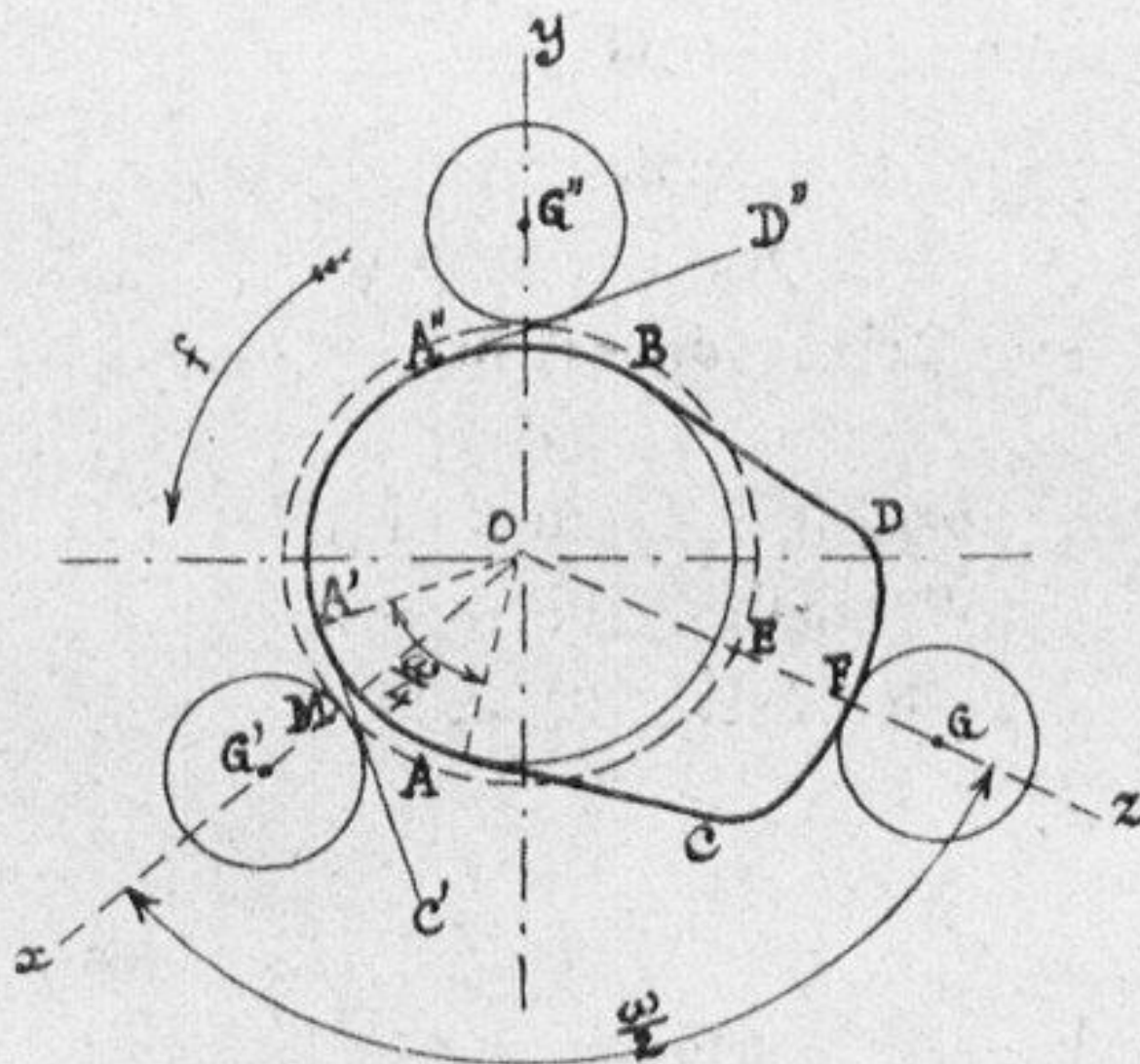


Fig. 23. — Tracé de came.

dant lequel se produit l'échappement est $\widehat{xOy} = \omega$. Les conditions de construction et de montage nous donnent le rayon de base OA de la came. Fixons ensuite le jeu

entre les tiges de soupapes et leurs poussoirs, soit j , qui se réduit à $j' = j \cdot \frac{b}{a}$ entre le galet et le noyau.

Traçons la circonférence OM telle que $OM = OA + j'$. Quand le cylindre commence à échapper, le galet G est en G' , sur l'axe Ox , le jeu est nul entre la tige de soupape et le levier; donc G' est tangent en M à la circonférence OM . A ce moment, la rampe d'attaque de la came est en contact avec G' . Traçons la tangente commune $A'C'$ à OA et à G : c'est la *rampe d'attaque* de la came.

Si nous considérons le galet en G'' , dans la position de fermeture d'échappement, nous déterminons la rampe $A''D''$ de sortie de la came, par un raisonnement analogue: c'est la *rampe de sortie*.

Considérons maintenant la position moyenne Oz du cylindre pendant la course d'échappement, c'est-à-dire quand le moteur a tourné de $\frac{\omega}{2}$. La came aura tourné de $\frac{\omega}{4}$ dans le même sens: $A'G'$ sera venu en AC , de façon que $\widehat{A'OA} = \frac{\omega}{4}$. La came aura accompli la moitié de son angle utile, Oz sera son axe. AC étant la rampe d'attaque, BD , symétrique de AC par rapport à Oz , sera la rampe de sortie.

Dans cette position moyenne Oz du cylindre, la soupape sera complètement ouverte et le galet touchera le contour de la came en F tel que:

$$EF = h \cdot \frac{b}{a}.$$

La portion d'arc CD , de la circonférence OF , nous limitera le haut du contour que nous raccorderons aux parties droites par des arcs de cercle.

Les cames d'admission se tracent d'une façon en tous points analogue.

CAME UNIQUE. — La came unique possède plusieurs

bossages dans le même plan de rotation, d'où il résulte un équilibrage parfait des organes de commande, ce qui n'a pas lieu pour la distribution décrite précédemment.

La commande de la came unique est directe et se fait par engrenage intérieur. Comme dans le cas précédent, nous pouvons concevoir une came tournant plus vite ou plus lentement que le moteur.

1^{er} cas. — C'est la disposition adoptée sur les moteurs Clerget; les bossages sont réduits, mais la denture du pignon a été étudiée de façon que la forme de la dent coïncide avec le contour de la came : l'un des pignons étant ainsi déterminé, l'autre s'en déduit par un tracé cinématique.

Le moteur tourne avec l'engrenage intérieur A, autour de l'axe O du vilebrequin (fig. 26). L'extrémité

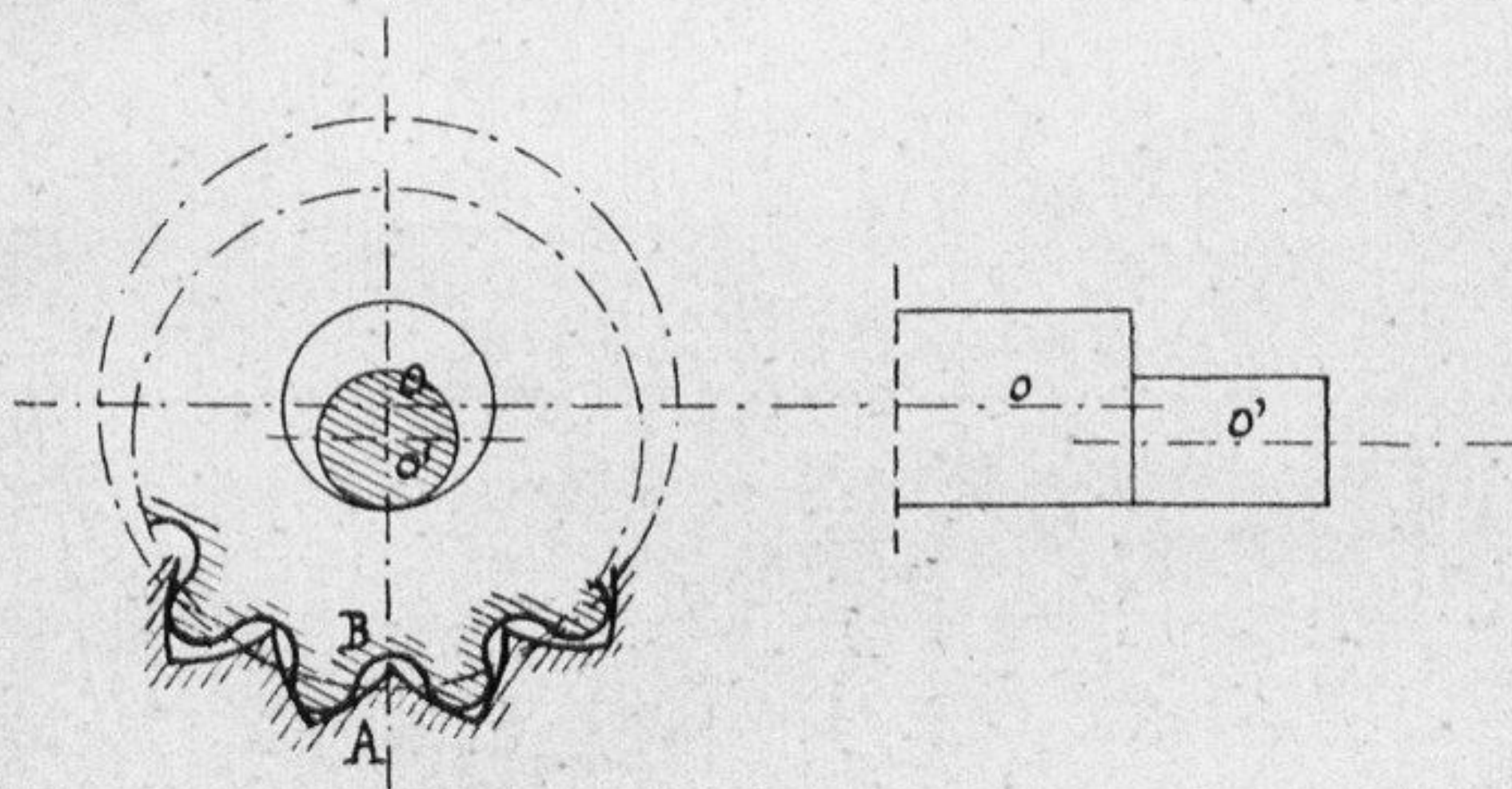


Fig. 26. — Commande Clerget.

du contre-coude du maneton porte une partie tournée excentriquement, d'axe O'. Un engrenage B, solidaire de la came, tourne autour de O' et engrène avec A qui lui transmet son mouvement.

2^e cas. — La disposition est inverse : le moteur tourne

avec le pignon intérieur qui engrène avec le pignon extérieur, solidaire des cames, monté sur la portée excentrée (disposition « Le Rhône »).

« *Nombre de bossages. Vitesse de rotation.* — Supposons n cylindres au moteur, p bossages à la came (fig. 27).

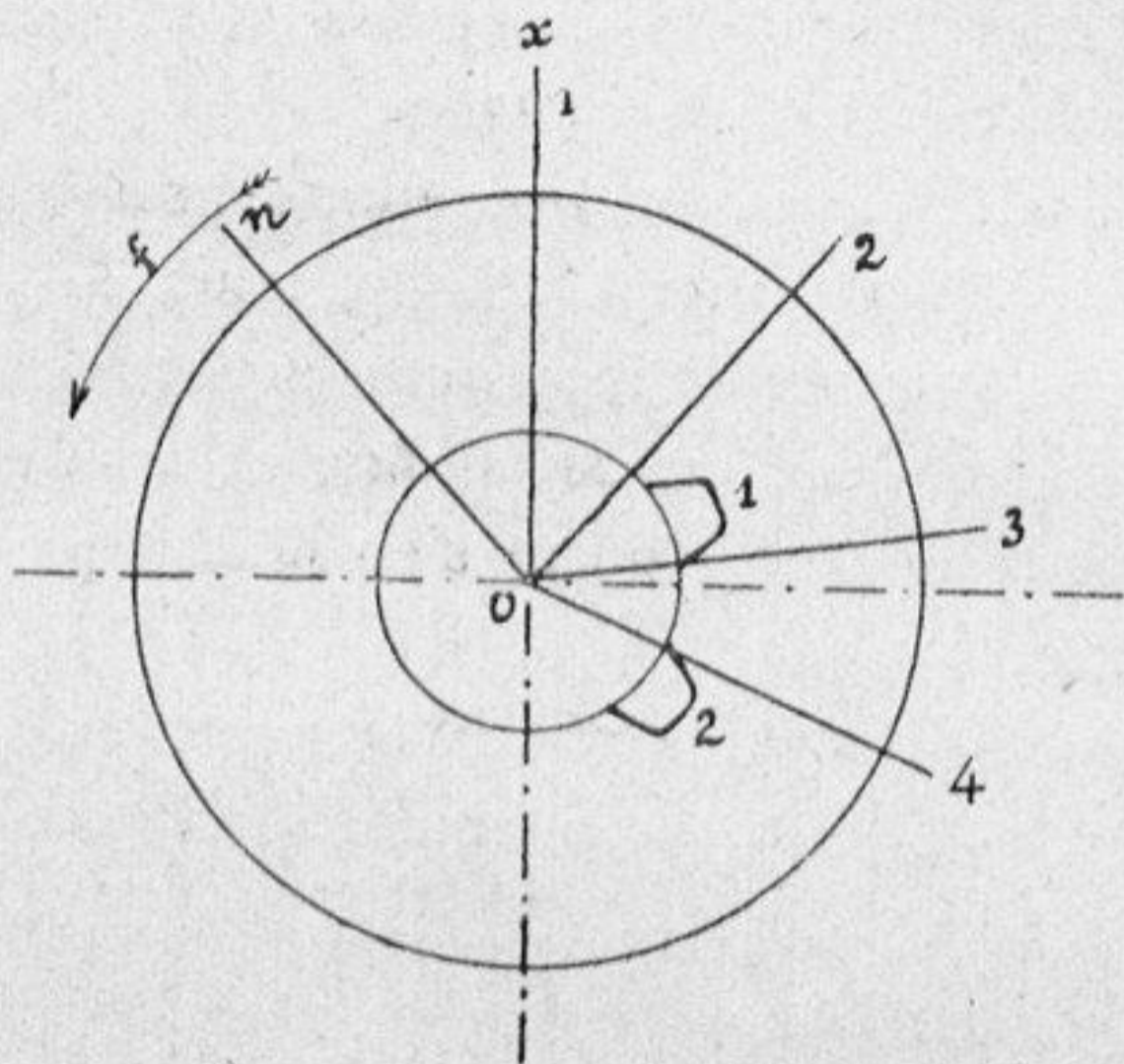


Fig. 27.

Le cylindre 1 est, par exemple, en pleine ouverture sur l'axe Ox . Le moteur tournant dans le sens de la flèche, il faut, lorsque le cylindre 3 sera sur Ox , que le bossage 2 ait pris la place de 1 :

Le moteur aura tourné de $\frac{2}{n}$ de tour. La came aura tourné de $\frac{1}{p}$ de tour. Le rapport des vitesses est donc :

$$\frac{\frac{2}{n}}{\frac{1}{p}} = \frac{2p}{n}.$$

Ce rapport doit satisfaire à deux conditions :

1° Qu'il soit voisin de l'unité ($6/7$, $10/9$, etc.), afin que, les engrenages A et B variant peu par leur nombre de dents, l'excentricité OO' soit faible, ce qui facilite

Traçons une droite A_1B_1 , développement de l'arc \widehat{AB} de la circonférence quelconque OA (l'angle $\widehat{AOB} = \alpha$ est l'angle d'échappement du moteur, par exemple). Traçons la courbe $A_1, 1_1, 2_1, 3_1, \dots, B_1$, dont les ordonnées représentent les hauteurs de levée du galet, en fonction de l'angle de rotation. Reportons cette courbe sur l'arc \widehat{AB} comme ligne d'abscisses en $A, 1, 2, 3, \dots, B$. Quand le moteur de n cylindres tourne de $\widehat{AOB} = \alpha$, la came tourne de $\alpha \cdot \frac{n}{2p}$ et le point a vient en a_1 (sur la circonférence noyau de la came) tel que :

$$\widehat{aOa_1} = \alpha \cdot \frac{n}{2p}.$$

A ce moment, c'est la fin de la période d'échappement et le galet est en b_1 , sur le rayon OB . Donc, pour la rotation α du moteur, A vient en B , la portion ab de la came vient en a_1b_1 et le galet parcourt le contour de la came compris entre a_1 et b_1 .

Divisons \widehat{AOB} en un certain nombre de parties égales, de même que $\widehat{a_1Ob_1}$. Portons sur $01_2, 02_2, 03_2, \dots$ les levées de galet indiquées sur la courbe $A, 1, 2, 3, \dots, B$ et traçons la position du galet correspondante. L'enveloppe de toutes ces positions nous donne le contour de la came.

S'il y a p bossages à la came, on répartira p contours identiques à a_1b_1 , régulièrement sur la circonférence de base de la came.

Condition à remplir.

On a :

$$\widehat{AOB} = \alpha.$$

$$\widehat{aOa_1} = \alpha \cdot \frac{n}{2p}.$$

$$\text{Donc : } \widehat{a_1Ob_1} = \alpha - \alpha \cdot \frac{n}{2p} = \alpha \left(1 - \frac{n}{2p} \right).$$

S'il y a p bossages qui occupent sur la circonférence Oa un angle égal à :

$$\alpha \cdot \left(1 - \frac{n}{2p}\right) \cdot p = \frac{\alpha}{2} (2p - n),$$

il faut évidemment que l'on ait :

$$\frac{\alpha}{2} (2p - n) \leq 2\pi.$$

Dans le cas où $V_{\text{came}} > V_{\text{moteur}}$, le tracé est identique.

CAMES CONJUGUÉES. — La came conjuguée résulte de l'accouplement de deux cames uniques, l'une d'admission, l'autre d'échappement, convenablement calées l'une par rapport à l'autre. Le nombre de bossages est le même que pour une came ordinaire et la commande est unique.

Le mécanisme de commande des soupapes comprend (fig. 29) un basculeur de cylindre AIE, articulé en I sur le carter, dont un galet A roule sur la came d'admission et un autre E sur la came d'échappement. En E s'articule la tige EB qui commande le levier OB, solidaire du levier CD, oscillant tous deux sur un palier, d'axe projeté en O.

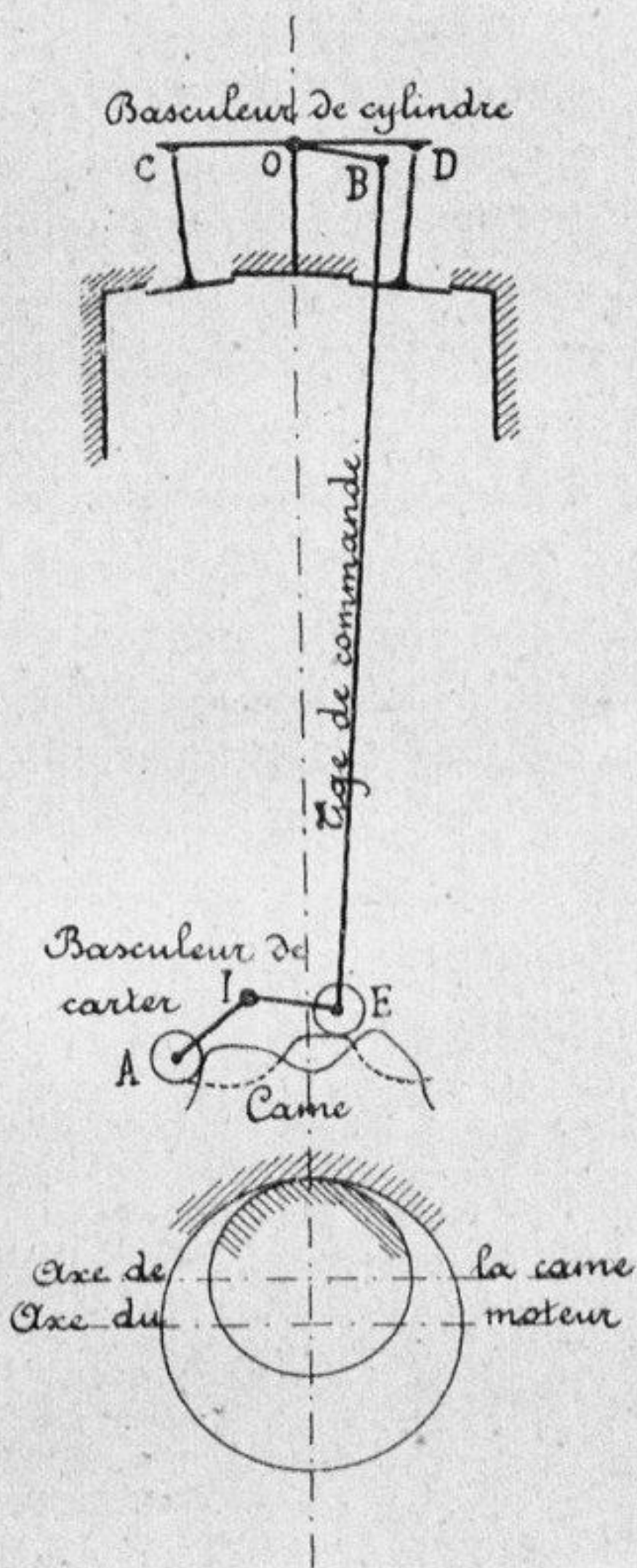


Fig. 29. — Commande des soupapes par cames conjuguées.

CD est le basculeur de cylindre qui commande directement les soupapes.

Dans l'étude d'une pareille distribution, il y a lieu de tenir compte :

1° Que dans n'importe quelle position, le basculeur de carter doit osciller librement autour du point I, sans coincement, et cela en laissant un certain jeu entre les galets et les cames.

2° De ce que la force centrifuge et la pression dans le cylindre interviennent dans le réglage du moteur.

Ce système a l'avantage de donner un parfait équilibrage et, en plus, de ne nécessiter qu'un seul bloc de cames, donc une seule commande; et par cylindre un basculeur unique et une seule tige de commande.

Mais il lie d'une manière invariable les diverses phases du cycle entre elles, de sorte qu'on ne peut modifier un temps sans faire varier tout le réglage.

C'est la disposition adoptée sur les moteurs « Le Rhône ».

CHAPITRE III

ÉTUDE DYNAMIQUE

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les mouvements du piston et de la bielle, calculé vitesses et accélérations. Nous déduisons de là les forces d'inertie.

Forces d'inertie du piston (fig. 30-a).

Le piston est animé de deux mouvements :

1° *Mouvement de rotation* de vitesse angulaire ω , autour du point O. ω étant constant, le mouvement est uniforme et l'accélération tangentielle $\frac{d\omega}{dt} = 0$, d'où force d'inertie nulle.

2° *Mouvement de translation* suivant l'axe du cylindre et d'accélération A. Si p est le poids du piston, la force d'inertie est :

$$F = \frac{p}{g} \cdot A.$$

dirigée suivant A et en sens inverse.

Forces d'inertie de la bielle (fig. 30-b).

Le seul mouvement de la bielle est une rotation, autour du point P, de vitesse angulaire Ω . La force d'inertie sera calculée en considérant l'accélération de

son centre de gravité G. L'accélération du point Q étant A, celle de G sera :

$$A' = A \cdot \frac{PG}{PQ}$$

dirigée comme A et appliquée en G. La force d'inertie est :

$$F' = \frac{p'}{g} \cdot A',$$

si p' est le poids de la bielle. F' est appliquée au centre

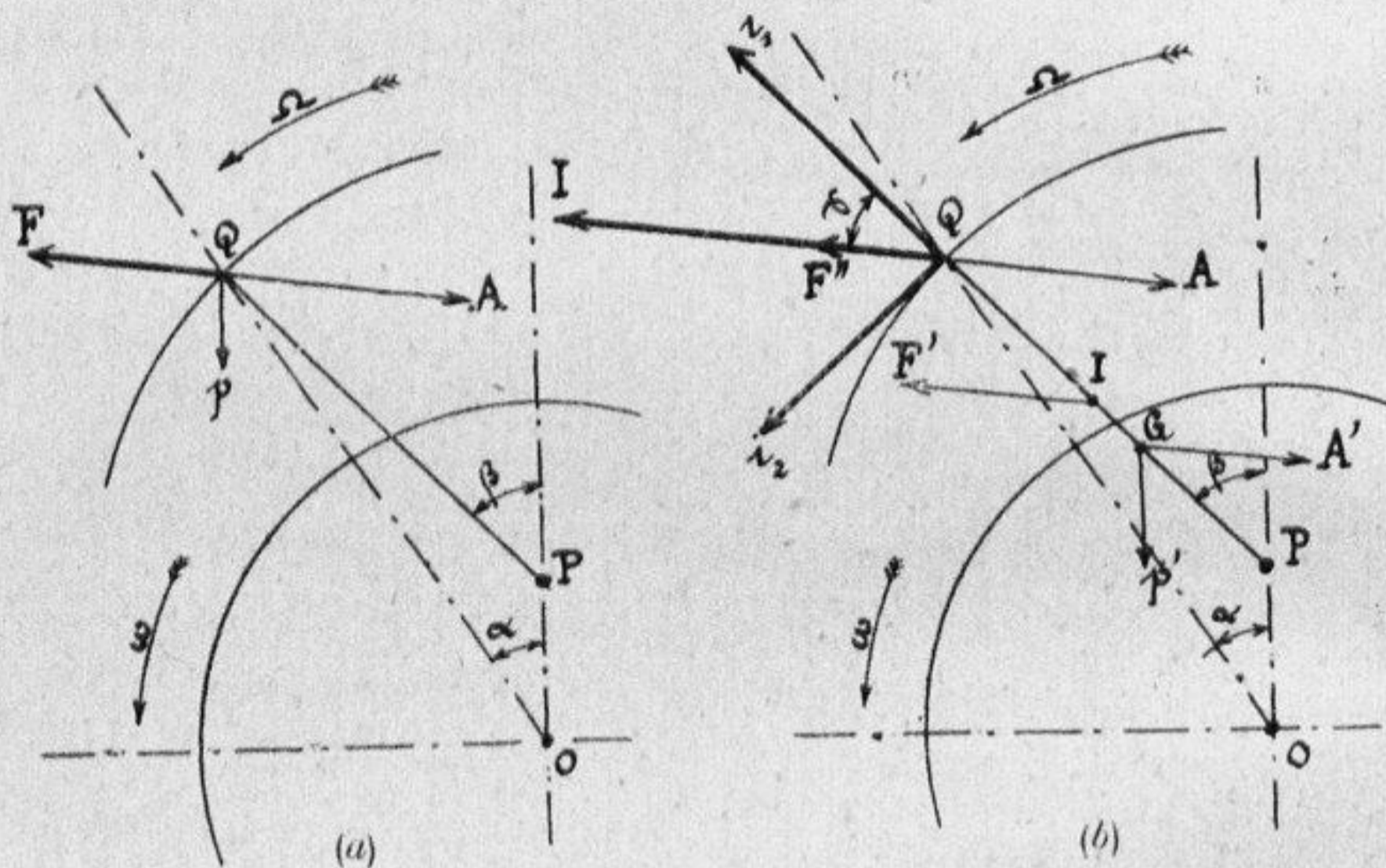


Fig. 30. — Forces d'inertie.

de percussion I, a le même sens que A et une direction opposée.

Si nous transportons F' en Q, elle devient :

$$F'' = F' \cdot \frac{PI}{PQ}.$$

Forces d'inertie résultantes (fig. 30-b).

Les deux forces parallèles et concourantes en Q, F et F'' donnent une résultante I qui est la force d'inertie résultante.

Elle est inclinée d'un angle γ sur l'axe de la bielle et se décompose suivant :

i_1 dirigée suivant l'axe de la bielle, provoquant un effort de traction sur celle-ci. $i_1 = f(\alpha)$ est une fonction

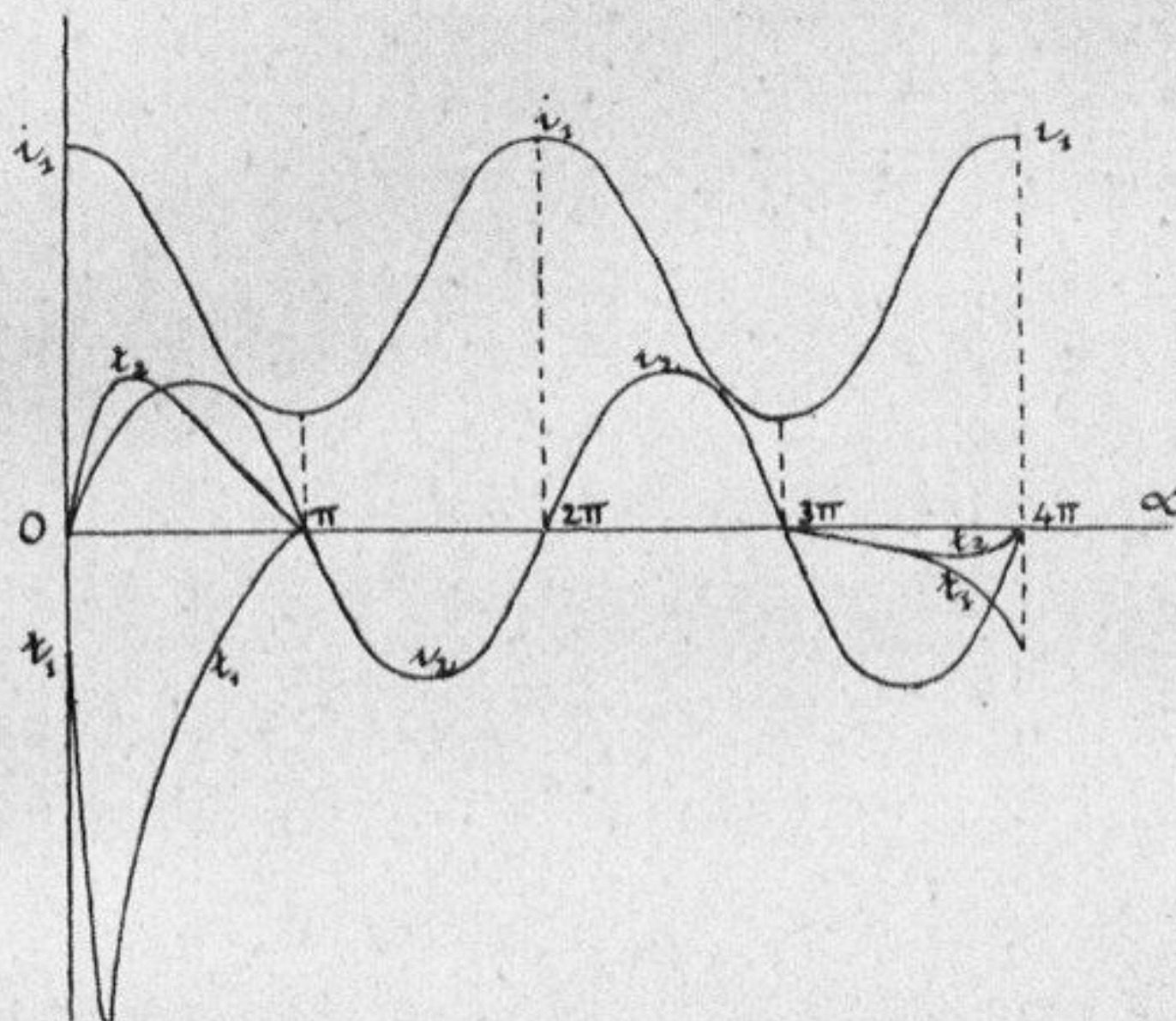


Fig. 31. — Diagrammes des forces d'inertie et des forces dues à l'évolution de la masse gazeuse.

périodique, de période 2π . La figure 31 nous montre les variations.

i_2 dirigée perpendiculairement à l'axe de la bielle et provoquant une pression sur les parois des cylindres. $i_2 = f(\alpha)$ est aussi une fonction périodique de période 2π , dont les variations sont indiquées figure 31.

Forces dues à l'évolution de la masse gazeuse.

A un instant quelconque existe une pression T dans le cylindre, à laquelle est soumise la face du piston qui la transmet à la bielle, sous forme de compression.

T se décompose en deux forces :

t_1 , suivant l'axe de la bielle, produisant la compression de celle-ci.

$$t_1 = \frac{T}{\cos(\beta - \alpha)}$$

La figure 31 donne les variations de t_1 , périodiques pour des rotations 4π .

t_2 normale aux parois du cylindre, qui provoque la rotation du moteur.

$$t_2 = T \cdot \operatorname{tg}(\beta - \alpha)$$

dont les valeurs sont indiquées figure 31.

Efforts sur la bielle (fig. 32).

Nous voyons, par ce qui précède, que la bielle est soumise à deux genres d'efforts : *des efforts de traction*,

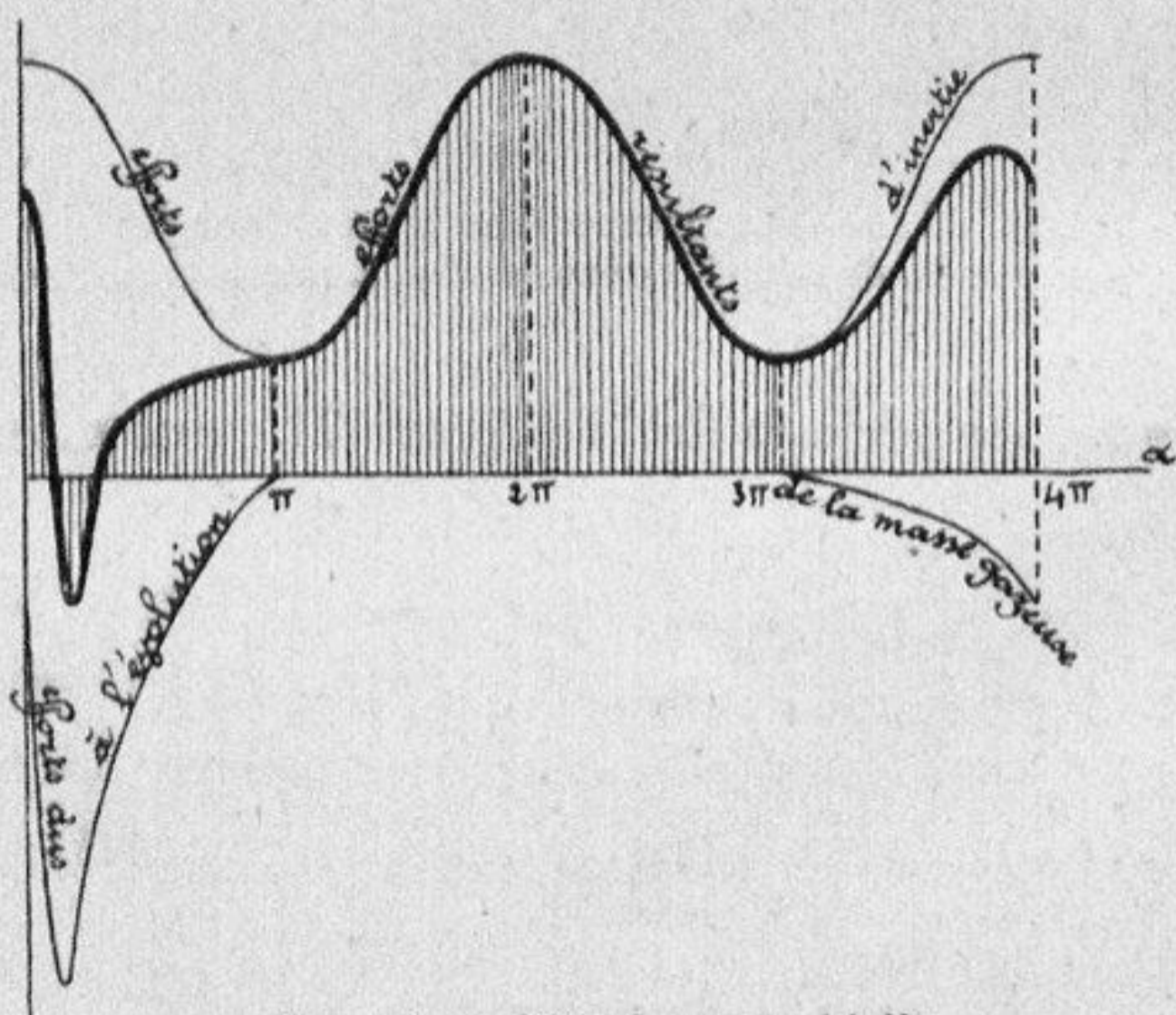


Fig. 32. — Efforts sur la bielle.

produits par l'inertie, dont les valeurs i_1 sont indiquées fig. 31 ; *des efforts de compression* produits par l'explosion, la détente et la compression, et dont les valeurs t_1 , sont indiquées fig. 31.

En composant ces deux genres d'efforts, nous obtenons le diagramme résultant des efforts sur la bielle. Nous voyons qu'elle est soumise, sauf au moment de l'explosion, à des efforts de traction, ce qui permettra de réduire beaucoup ses dimensions, le flambage n'étant pas à craindre.

Pressions sur les parois des cylindres (fig. 33).

Les pressions sur les parois proviennent :

1° Des composantes i_2 , de la force d'inertie résultante I , et dont les valeurs sont indiquées fig. 31.

2° Des composantes t_2 , des forces dues à l'évolution

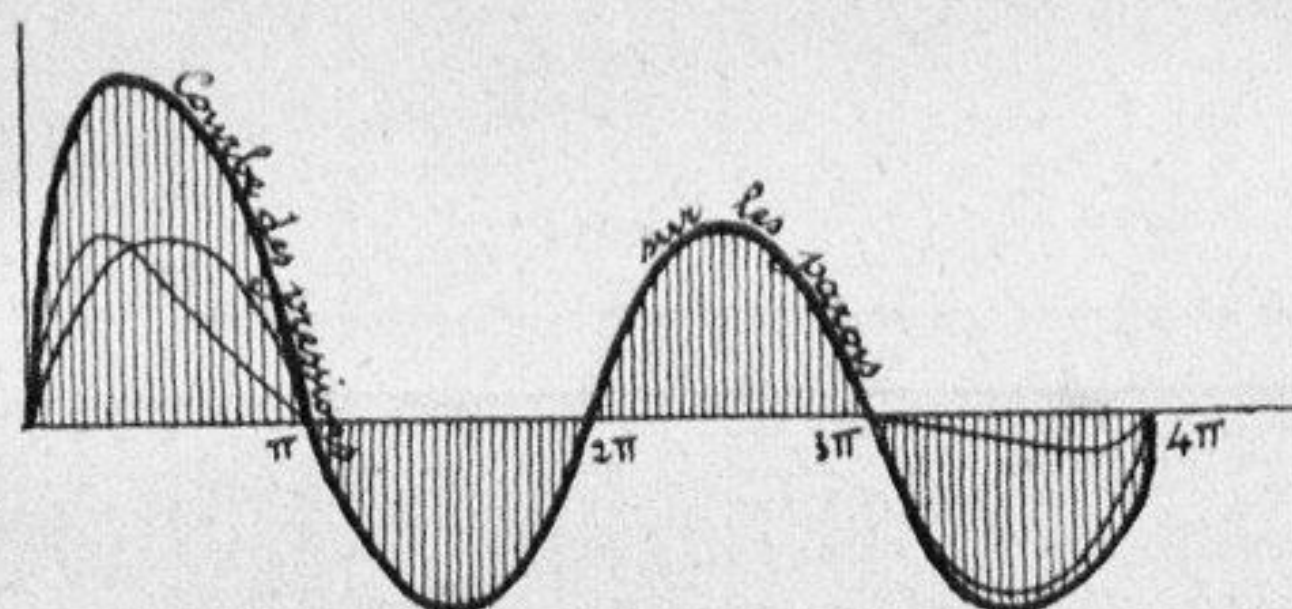


Fig. 33. — Pressions sur les parois des cylindres.

de la masse gazeuse, et dont les valeurs sont indiquées fig. 31.

Le diagramme résultant nous donne les variations des pressions sur les parois, en fonction de l'angle de rotation.

Il est à remarquer que le maximum de pression a lieu en même temps que le maxima de vitesse du piston, ce qui entraîne une usure rapide des parois des cylindres.

Irrégularité cyclique.

L'organe qui sert à uniformiser la vitesse d'une machine, dans laquelle les efforts moteurs varient sui-

vant une loi, dans l'intervalle d'un ou plusieurs tours, est le volant.

Plus le volant a d'inertie, plus la régularité de marche est grande, plus le couple moteur est constant. De même, plus le moteur a de cylindres, plus la régularité est grande. Le moteur rotatif réalise, sans adjonction d'organe supplémentaire, le volant à grande inertie, par la rotation de sa masse principale; et sa régularité cyclique est encore augmentée par le grand nombre de cylindres.

Supposons tracé (fig. 34) le diagramme du moment moteur, pour un moteur quelconque et une rotation

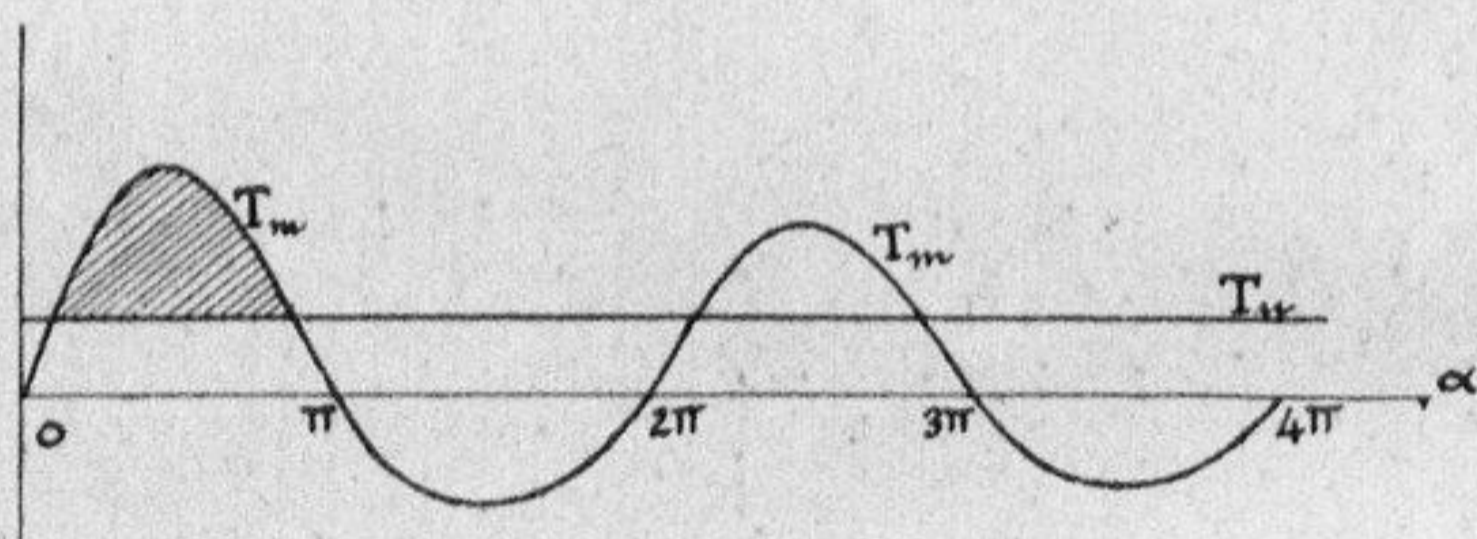


Fig. 34. — Couple moteur.

de 4π . Sa surface représente le travail moteur $\bar{\epsilon}_m$. Ce travail fait équilibre au travail utile $\bar{\epsilon}_u$ (traction d'une hélice, par exemple), qui peut être considéré comme constant.

L'irrégularité du couple moteur fournissant tantôt un excès d'énergie, tantôt une insuffisance, il faut que le volant emmagasine l'énergie supplémentaire au moment de l'excès, pour la restituer au moment de l'insuffisance. La partie hachurée nous montre le maximum de l'écart $\bar{\epsilon}_m - \bar{\epsilon}_u$ et l'irrégularité cyclique a pour valeur :

$$\frac{\bar{\epsilon}_m - \bar{\epsilon}_u}{I\omega^2}$$

I étant le moment d'inertie de la masse tournante qui s'exprime par $\Sigma m\rho^2$.

Pour un 7 cylindres, l'irrégularité cyclique est environ $\frac{1}{1\ 200}$; pour un 9 cylindres, $\frac{1}{2\ 500}$. Ce qui montre la grande constance du couple moteur dans les rotatifs.

Efforts que fait naître la rotation.

1° *Couple de renversement.* — Considérons un moteur de puissance P, monté sur un châssis. Il tourne sous l'impulsion du couple moteur C, tel que :

$$P = C\omega$$

si ω est la vitesse angulaire de rotation.

En vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, ce couple C est équilibré par un couple antagoniste R, qui tend à faire tourner le châssis en sens inverse de la rotation du moteur :

$$C = -R.$$

Pour un moteur fixe, ce couple R est absorbé par la réaction du socle et des fondations. Mais pour un moteur monté sur un véhicule, il doit être absorbé d'une autre manière. C'est ainsi, par exemple, que l'essieu arrière d'une voiture automobile, possédant un couple moteur C, a son carter soustrait au couple de renversement par des jambes de force prenant attache sur le châssis, lequel transmet ce couple au sol qui le vainc par réaction.

Dans un aéroplane, prenant appui sur l'air, le couple ne peut être équilibré que par une force F qui fournit un couple égal et opposé au couple moteur.

Calculons F

De $P = C\omega,$
 on tire $C = \frac{P}{\omega}.$

Or, $\omega = \frac{\pi n}{30}.$

D'où : $C = \frac{P \times 75 \times 30}{\pi n}.$

La force F sera telle que :

$$Fl = C = \frac{P \times 75 \times 30}{\pi n},$$

l étant le bras de levier de F .

D'où $F = \frac{P \times 75 \times 30}{\pi ln}.$

Cette force F peut être engendrée de plusieurs manières :

a) Par l'action d'un contrepoids fixé sur l'aile droite (le moteur tournant à droite, vu du siège du pilote). Cette disposition a l'inconvénient de donner un poids mort supplémentaire à l'appareil.

b) Par l'augmentation de surface portante à gauche de l'axe de roulis.

c) Par l'augmentation d'incidence de la cellule, à gauche de l'axe de roulis.

Remarquons que, si on coupe le moteur, le couple de renversement cesse et, la force correctrice existant toujours, l'appareil tend à pencher à droite : le virage à droite est de ce fait facilité, tandis que le virage à gauche devient plus difficile.

Dans les appareils bimoteurs existants, les axes des moteurs sont placés symétriquement par rapport à l'axe

de l'appareil et les moteurs tournent dans le même sens. Il en résulte que les deux couples de renversement qui prennent naissance, étant parallèles et de même sens, s'ajoutent. Si l'un des moteurs s'arrête, le pilote devra manœuvrer son gouvernail pour empêcher le virage, de sorte que l'appareil avancera suivant une trajectoire qui ne contiendra pas son axe longitudinal.

Il y aurait intérêt à ce que les moteurs tournent en sens contraire de façon que les couples de renversement s'annulent.

2° *Couple résultant des forces d'inertie tangentiellles.*
— Nous pouvons assimiler un moteur rotatif à un solide de révolution : s'il y a n cylindres, nous pouvons diviser sa masse en n parties, limitées par des plans passant par l'axe de rotation et bissecteurs de l'angle de deux cylindres consécutifs. Chaque partie fait naître, par la rotation, une force centrifuge et les n forces développées se font équilibre.

Les forces tangentiellles d'inertie de chaque partie forment un couple d'inertie résultant, dont l'axe coïncide avec l'axe de la rotation : il est nul si la rotation est uniforme, et ne dépend que de l'accélération angulaire, non de la vitesse de rotation.

3° *Effets gyroscopiques.* — Les effets gyroscopiques résultent de la rotation très rapide d'un corps solide, et se produisent lorsqu'on change ou qu'on tend à changer la direction de l'axe de rotation. On comprend dès lors que, pour un moteur rotatif, à grande masse tournante, monté sur un appareil aérien sans cesse sollicité à changer de direction, les effets gyroscopiques se manifestent d'une manière presque continue. Nous allons

signaler leurs effets dans une giration, un tangage et un roulis de l'appareil, d'après ce qu'indiquent les calculs.

Soient OA l'axe du moteur, OR l'axe de la rotation, P et Q deux paliers. Soient OX et OY deux axes rectangulaires perpendiculaires à OA .

Dans un mouvement de giration (fig. 35-a), l'axe de la rotation est p , parallèle à OX . L'axe du couple C , dû

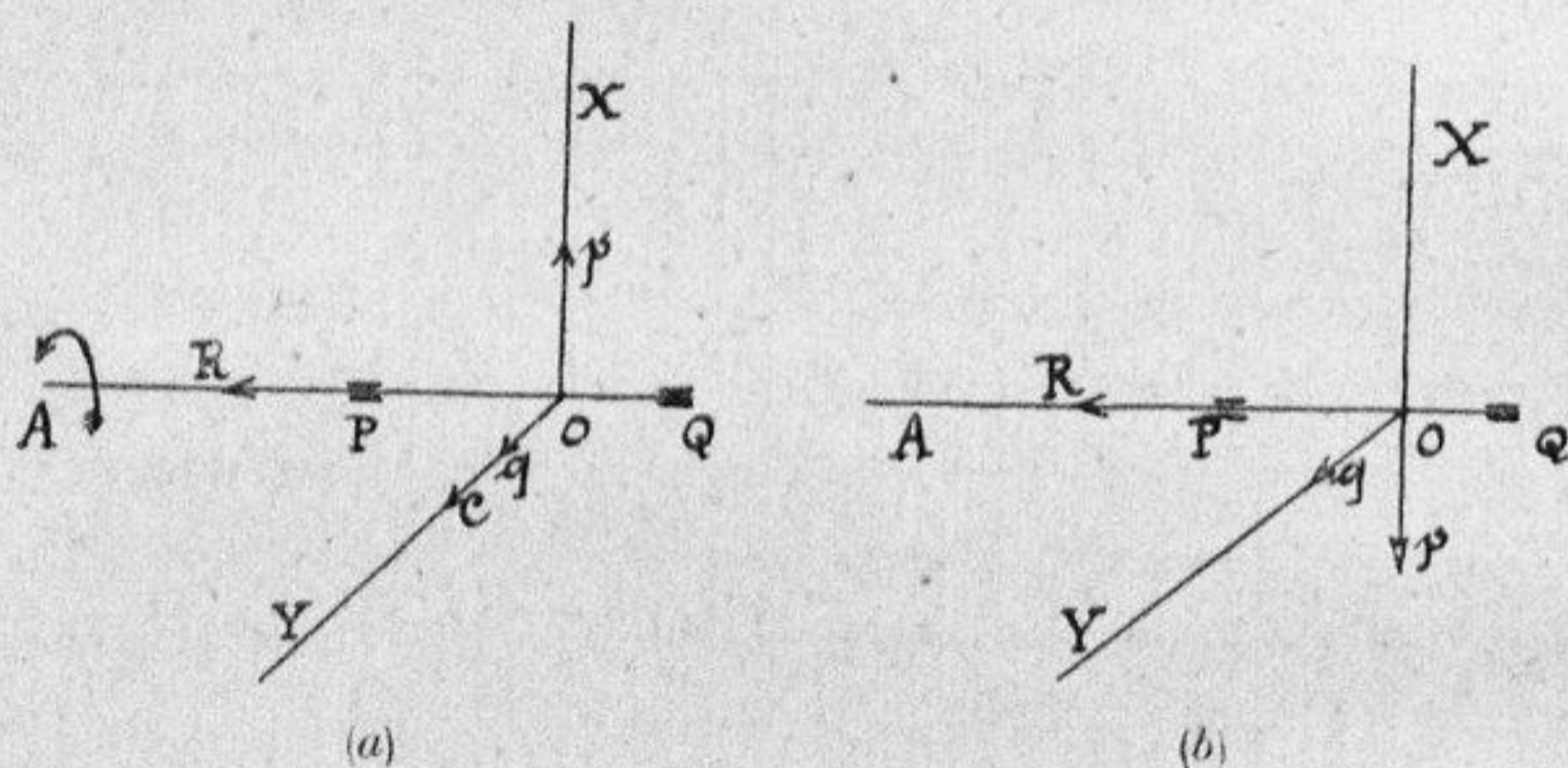


Fig. 35. — Effets gyroscopiques.

aux forces centrifuges composées est dirigé suivant OY ; et le mouvement parasite qui tend à se produire est une rotation q , qui fait piquer l'appareil.

Dans un mouvement de tangage (fig. 35-b) d'axe q , parallèle à OY , l'axe du couple C , des forces centrifuges composées, est dirigé parallèlement à OX et en sens inverse. Le mouvement parasite est une rotation p qui fait virer l'appareil.

Dans un mouvement de roulis autour d'un axe parallèle à OC , les axes de rotation étant parallèles, le couple des forces centrifuges composées est nul et ses effets également nuls.

Pratiquement, le virage n'est jamais assez court

pour que la réaction, tendant à la montée ou à la descente, se fasse fortement sentir. La principale manifestation de l'action gyroscopique consiste surtout dans le cisaillement des boulons de fixation du moyeu d'hélice, lorsqu'on effectue un changement brusque de trajectoire.

On peut équilibrer dans une certaine mesure l'effet gyroscopique en faisant tourner l'hélice en sens inverse du moteur, l'annuler même avec deux moteurs tournant en sens inverse.

Perte de puissance due à la rotation.

La rotation du moteur donne lieu, de la part de l'air, à une résistance qui le freine et diminue sa puissance de 10 p. 100 environ. Il ne faut pas voir là, cependant, une infériorité du rotatif, car cette rotation provoque une ventilation énergique, suffisante pour le refroidissement. Ce refroidissement est obtenu, sur les moteurs fixes, au prix de l'adjonction d'un ventilateur, dans le cas du refroidissement par l'air, qui absorbe une certaine puissance ; ou au prix de l'augmentation de la masse puissancique, dans le cas du refroidissement par l'eau (radiateurs, pompe, tuyauteries, eau, etc...).

Résistance à l'avancement.

Le moteur en rotation présente, à l'avancement, une résistance égale à celle d'une plaque circulaire de diamètre égal au diamètre d'encombrement du moteur. Qu'il soit placé à l'avant ou à l'arrière de la nacelle, il donne à l'appareil une très mauvaise forme de pénétration. Si V est la vitesse en mètres, par seconde, de l'ap-

pareil, D le diamètre d'encombrement du moteur, la résistance à l'avancement sera :

$$R = k. \frac{\pi D^2}{4}. V^2,$$

où

$$k = 0,08.$$

Cette résistance est considérablement diminuée par le *capotage* du moteur, établi de façon que l'ensemble de l'appareil constitue un esquif de bonne pénétration.

CHAPITRE IV

L'ALLUMAGE

Généralités.

L'allumage a pour but l'inflammation des gaz préalablement comprimés dans la chambre d'explosion, afin d'y produire une brusque élévation de pression qui chasse violemment le piston.

Avec une compression suffisamment élevée, l'allumage se produirait automatiquement, dès que la température du mélange comprimé aurait atteint le point d'inflammabilité : c'est le principe du moteur à combustion interne, encore non conçu dans la catégorie des moteurs légers. Il nous faut donc avoir recours à un procédé d'allumage indépendant, celui par magnéto à haute tension, actuellement le meilleur.

En vue d'un rendement thermodynamique maximum, il nous faut un mélange homogène, bien titré, de façon à obtenir une combustion *aussi rapide que possible*, et le problème présente une importance particulière avec les moteurs à grande vitesse. Pour un moteur tournant à 1 200 tours-minute, par exemple, la durée d'une course est :

$$\frac{60''}{1\ 200 \times 2} = 0,025 \text{ seconde.}$$

et dans ce temps extrêmement court doivent s'effectuer l'allumage, l'explosion et la détente. On comprend,

dès lors, l'importance de la rapidité de la combustion et, par suite, celle de la précision du point d'allumage.

Si nous comparons les diagrammes représentant les cycles théorique et réel, nous remarquons que (fig. 36) :

1° Dans le cycle théorique, l'explosion est instantanée,

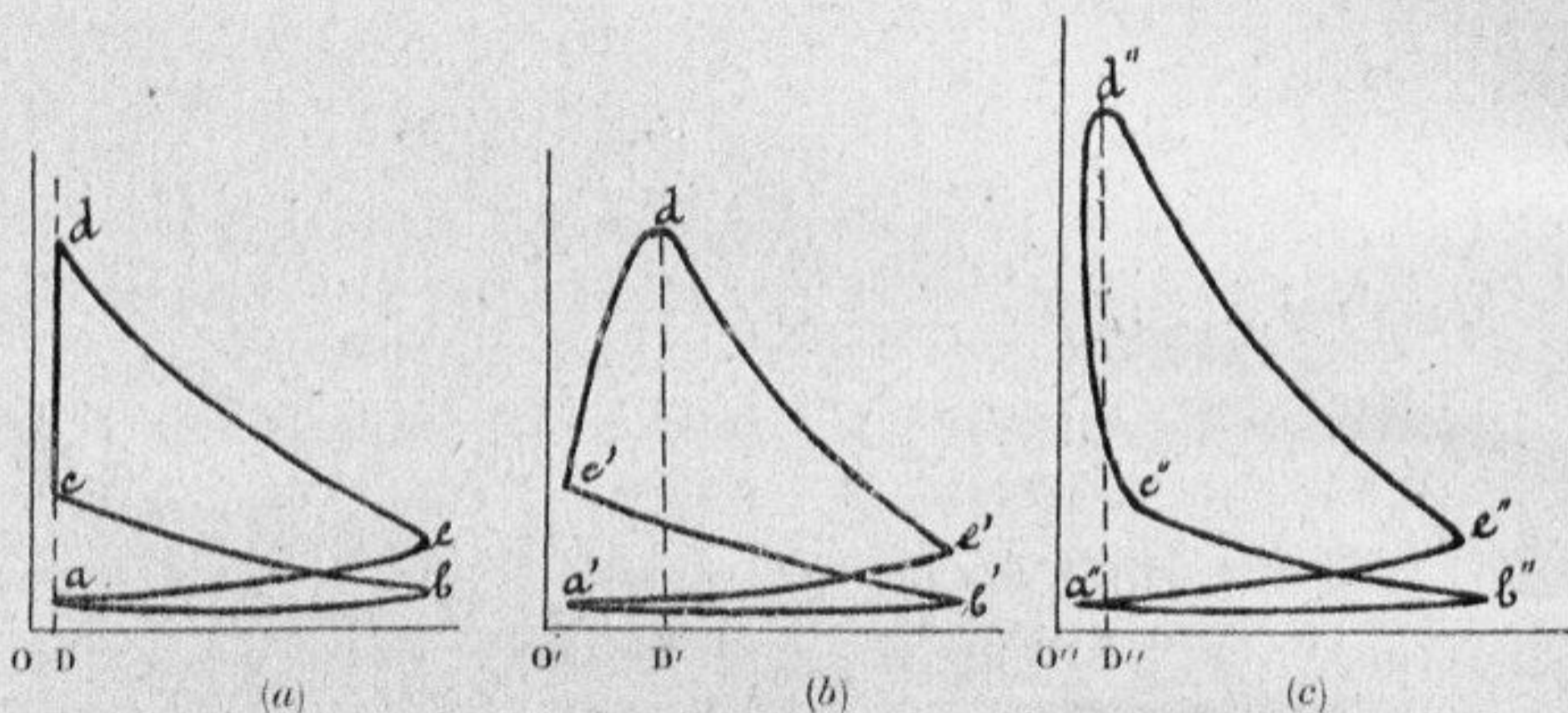


Fig. 36. — Diagramme avec : a) allumage théorique ; b) allumage au point mort ; c) avance à l'allumage.

donc à volume constant et la pression passe de c en d sur la même ordonnée (fig. a).

2° Dans le cycle réel, en faisant jaillir l'étincelle au point mort haut, la pression maxima n'est atteinte qu'après une certaine fraction de la course du piston (fig. b). Il en résulte une perte de travail provenant d'abord de la perte de pression ($Dd > D'd'$), et ensuite de ce que la pression maxima ne s'exerce pas depuis le début de la course du piston.

Avec une compression déterminée et un système d'allumage donné, nous ne pouvons pas diminuer la durée de l'explosion, mais nous pouvons récupérer une partie du travail perdu par l'avance de l'allumage.

Nous faisons jaillir l'étincelle avant que le piston soit

au haut de sa course, et de façon que la pression soit maximum quand il est exactement au point mort haut. Nous avons ainsi (fig. c) la pression maximum $D''d''$ qu'il est possible d'atteindre et elle s'exerce sur le piston dès le début de sa course.

On remarquera de suite que pour des compressions égales, l'avance à l'allumage devra être d'autant plus grande que le moteur tournera plus vite, mais il faudra d'autant moins d'avance que la compression sera plus forte.

Réalisation du circuit électrique dans un rotatif (fig. 37).

Le courant secondaire à haute tension est fourni par une magnéto donnant 2 étincelles par tour. Il est amené

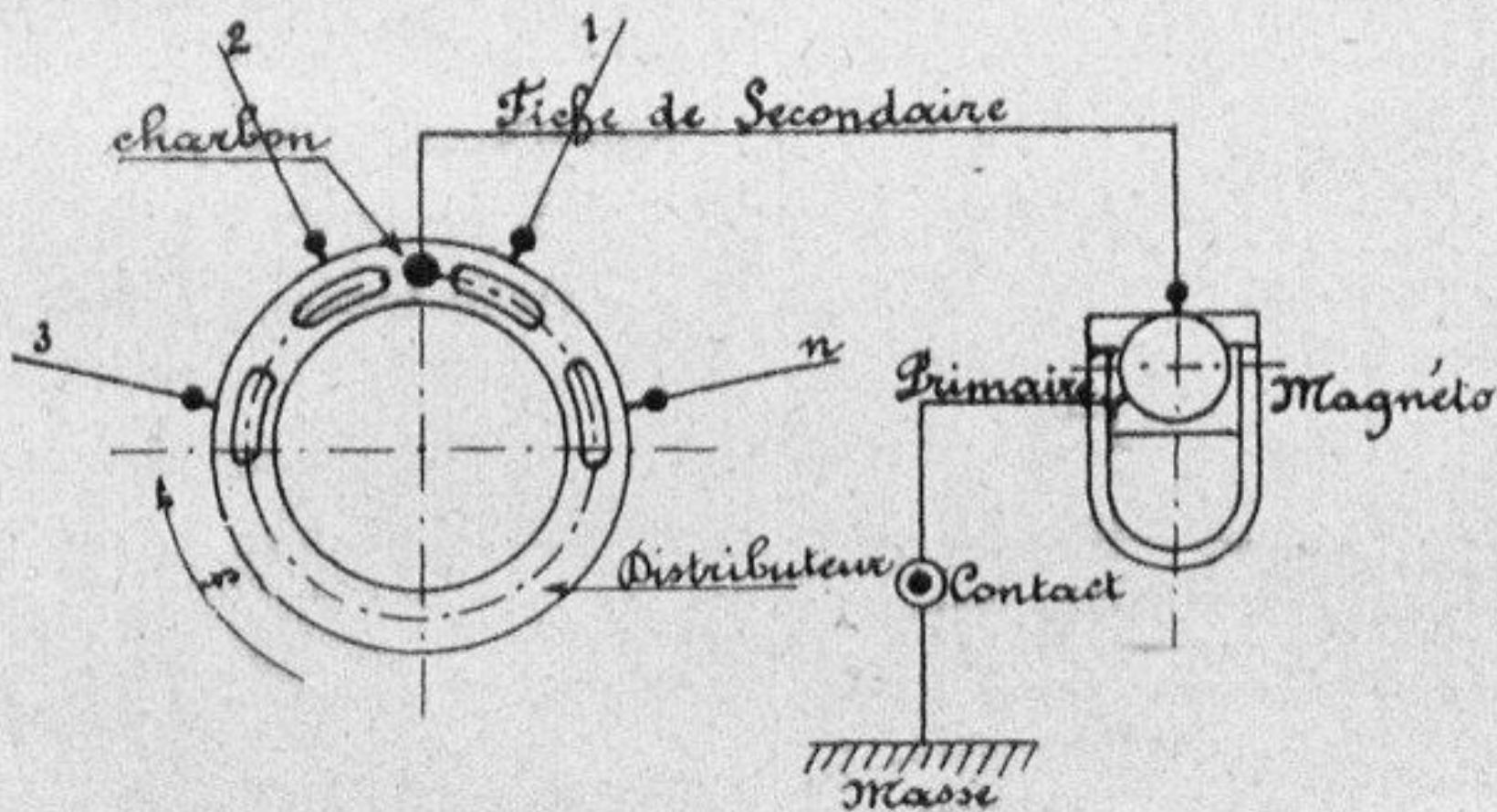


Fig. 37. — Circuit électrique.

de la borne du secondaire au porte-charbon, monté sur le plateau support du moteur, par l'intermédiaire d'une fiche amovible, parfaitement isolée dans sa gaine. Dans le porte-charbon est logé un charbon qui, sous l'action d'un ressort, frotte sans exagération sur un distributeur constitué par un disque isolant, tournant avec le carter

et portant des plots conducteurs, en nombre égal à celui des cylindres. Chaque plot correspond à une bougie et la liaison électrique a lieu par un fil de laiton.

PORTE-CHARBON (fig. 38). — Le porte-charbon est constitué par une pièce métallique centrale A, portant à une

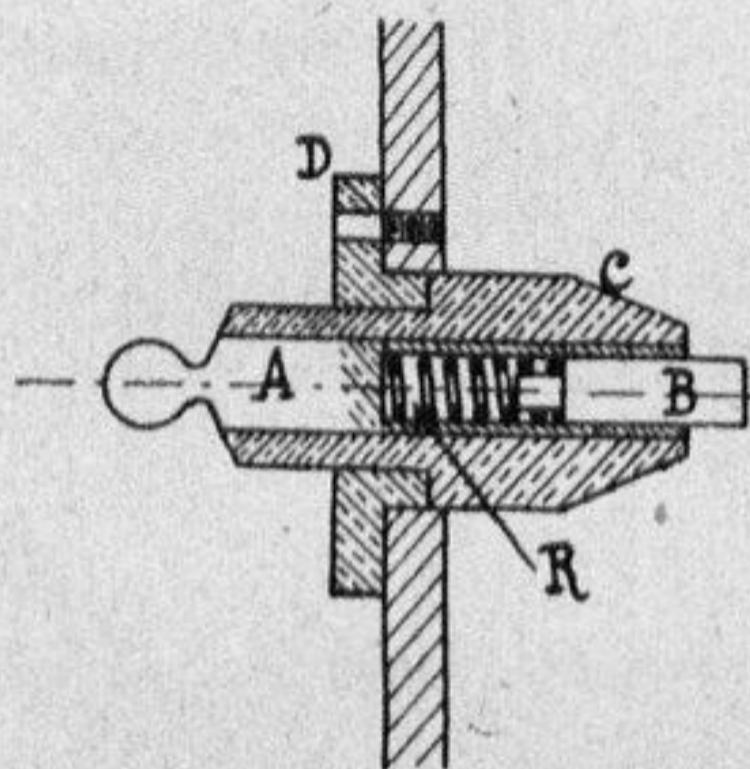


Fig. 38. — Porte-charbon.

extrémité une boule pour l'attache de la fiche ; l'autre extrémité a un logement où entre à frottement doux le charbon B, sollicité par le ressort R, à prendre appui sur le distributeur.

Une gaine en ébonite C entoure le conducteur central A. Une collerette métallique D permet la fixation de l'ensemble sur le plateau support du moteur, à l'aide de trois vis.

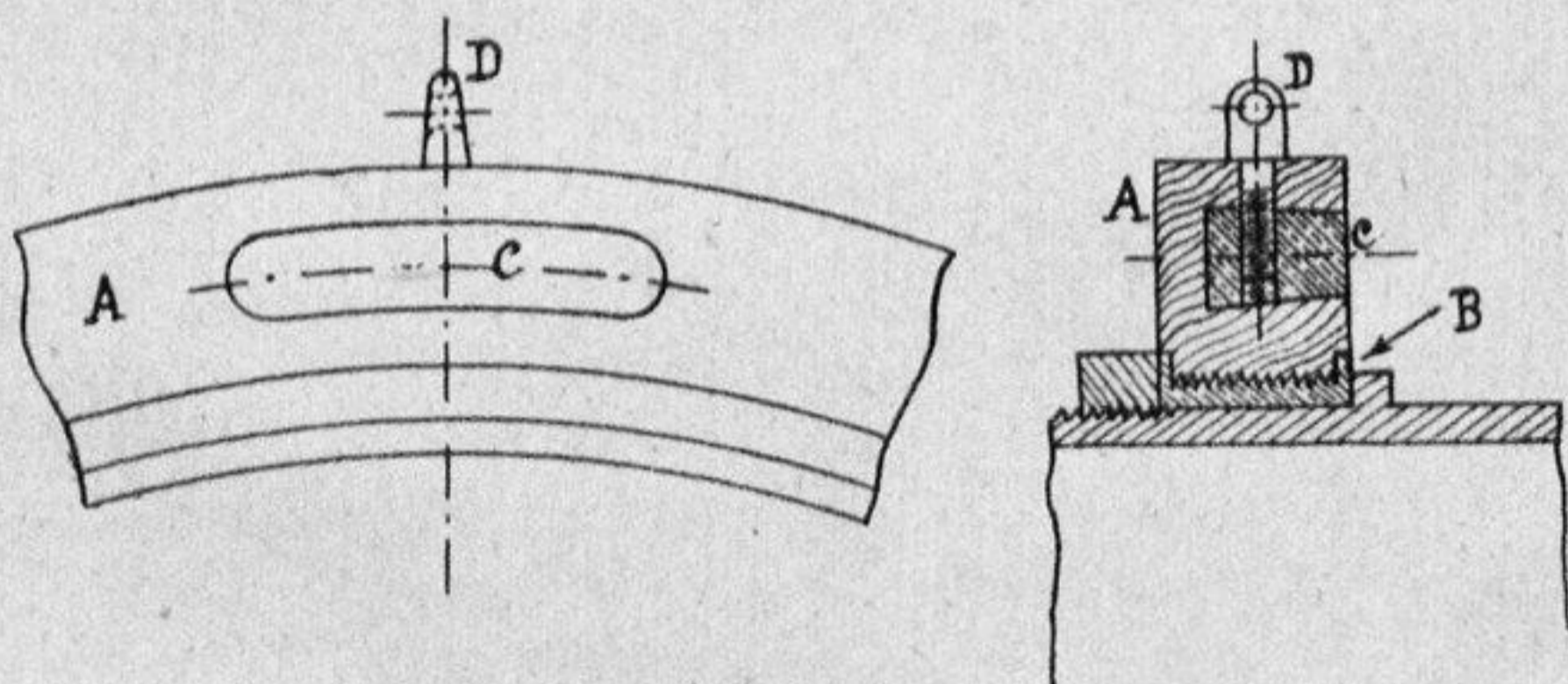


Fig. 39. — Distributeur de secondaire.

DISTRIBUTEUR (fig. 39). — Le distributeur est constitué par une rondelle en ébonite A, dont l'alésage est garni d'une bague métallique B, en vue d'un emmanchement

facile sur la flasque de butée du moteur. Dans la masse de l'ébonite sont encastrés des plots en cuivre C, débouchant sur une face sous la forme d'une portion de couronne circulaire. Ces plots sont répartis sur le pourtour du distributeur, en nombre égal à celui des cylindres et sur chacun d'eux est vissée une tige D, traversant l'ébonite et débouchant sur le pourtour du distributeur par un œil qui permet l'attache des câbles conduisant le courant aux bougies.

Vitesse de la magnéto. — La magnéto est fixée solidement sur le plateau support du moteur. Elle porte, claveté en bout de l'induit, un engrenage en prise avec l'écrou-pignon arrière du moteur qui commande également la pompe à huile.

Si le moteur a n cylindres, la magnéto devra fournir n étincelles pour 2 tours du moteur. Or, elle donne 2 étincelles par tour. Pour donner n étincelles, elle devra faire $\frac{n}{2}$ tours.

Donc, à 2 tours du moteur correspond $\frac{n}{2}$ tours de la magnéto et à 1 tour du moteur correspond $\frac{n}{4}$ tours de la magnéto.

$\frac{n}{4}$ est le rapport des vitesses de la magnéto au moteur.

Réglage de la magnéto. — On amène un cylindre quelconque en compression, au point exact où doit se produire l'allumage. On tourne alors à la main l'induit de la magnéto, dans le sens normal de la rotation, jusqu'à l'instant précis où les vis platinées, au rupteur, vont se séparer. On engrène alors la denture de la magnéto sur celle du moteur. Dès que la magnéto est légèrement fixée, on vérifie le point d'allumage, avant le blocage définitif.

Le pignon de la magnéto est claveté sur une portée conique, en bout de l'induit. Il en résulte que les variations de calage ne peuvent différer que d'un nombre

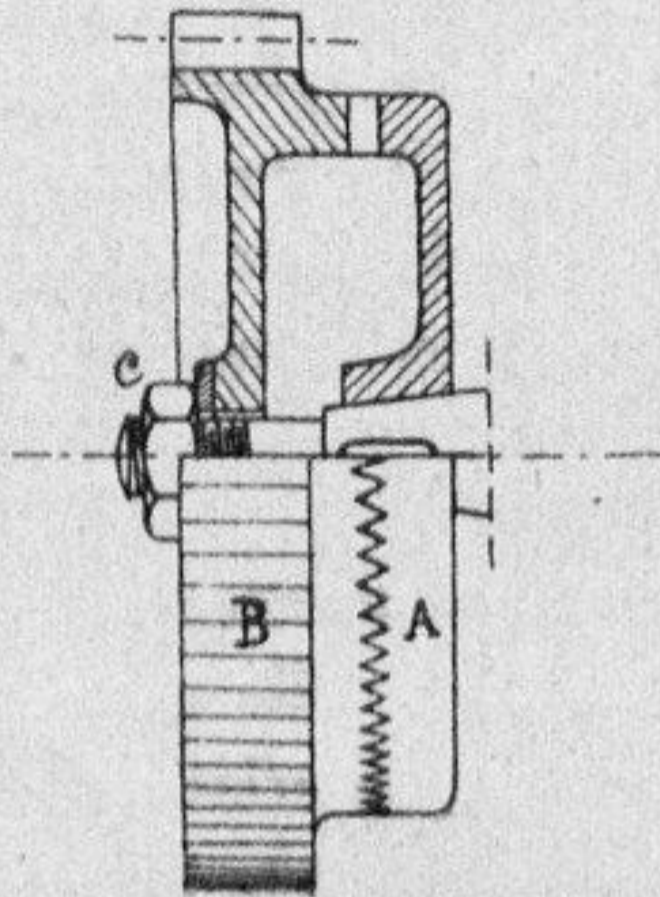


Fig. 40. — Pignon de commande de magnéto à calage angulaire.

exact de dents, ce qui est insuffisant pour un calage précis. On a remédié à cet inconvénient par une disposition particulière (fig. 40). Sur l'arbre de l'induit est clavetée une flasque A, à denture très fine sur une couronne circulaire. Le pignon B, possédant une denture identique, est centrée sur la flasque, denture sur denture, et bloqué par l'écrou C, vissé en bout de l'induit, le réglage est très simplifié, car

on commence à fixer définitivement la magnéto, et on effectue le réglage par desserrage de l'écrou C et calage convenable de B sur A.

Le double-allumage. — Le double-allumage consiste à provoquer l'inflammation des gaz comprimés en deux endroits différents de la masse, et à l'aide de sources distinctes. Il en résulte que les chances de pannes d'allumage sont réduites, le système d'allumage étant doublé, et que l'inflammation des gaz ayant lieu en deux points différents de la masse, la durée de la combustion est moindre.

Ces pannes peuvent provenir :

1° *Des magnétos* sujettes à des avaries en cours de fonctionnement.

2° *Des bougies* susceptibles de s'encrasser ; et les

ratés qui en résultent provoquent des irrégularités du couple moteur, entraînant des vibrations énormes, comparables à des chocs, très nuisibles à la marche d'un appareil aérien.

3° *Du circuit électrique* lui-même, sujet à détérioration de par tous ses organes.

Le double-allumage joue donc un rôle important, en cas de panne d'un système et augmente considérablement la sécurité de marche.

Il est indispensable que le calage des magnétos soit identique pour que, dans le cas normal où les deux systèmes fonctionnent, les effets des étincelles s'ajoutent.

Chaque circuit possède une magnéto, une fiche de contact, un charbon, une rangée de plots montés sur le même distributeur, des fils d'allumage indépendants et une bougie par cylindre.

Suppression de l'allumage pendant la marche. — Il est indispensable de pouvoir, à un instant quelconque, *couper l'allumage* afin de provoquer l'arrêt immédiat du moteur.

La suppression de l'allumage est obtenue en mettant le primaire en court-circuit. De la borne du primaire (fig. 37), le courant est conduit à un interrupteur, de forme très variable, qui établit la communication avec la masse, pour supprimer l'allumage, ou l'intercepter, pour la marche du moteur.

REMARQUE. — Il est nécessaire que le fil de masse soit soigneusement isolé de toute masse métallique, car un contact accidentel provoquerait l'arrêt du moteur.

Mécanismes de ralenti par l'allumage.

Nous savons que les cylindres travaillent de 2 en 2. Si, par un dispositif quelconque, nous les faisons travailler de 4 en 4, chacun des n cylindres du moteur ne travaillera que tous les 4 tours : nous aurons ainsi un ralenti régulier instantané. Pour un 7 cylindres, par exemple, l'ordre d'allumage est :

En pleine puissance : 1-3-5-7-2-4-6 (en 2 tours).

Au ralenti : 1-5-2-6-3-7-4 (en 4 tours).

Voici le mécanisme de la Maison Clerget qui utilise ce principe (fig. 41). En bout de l'arbre de la magnéto

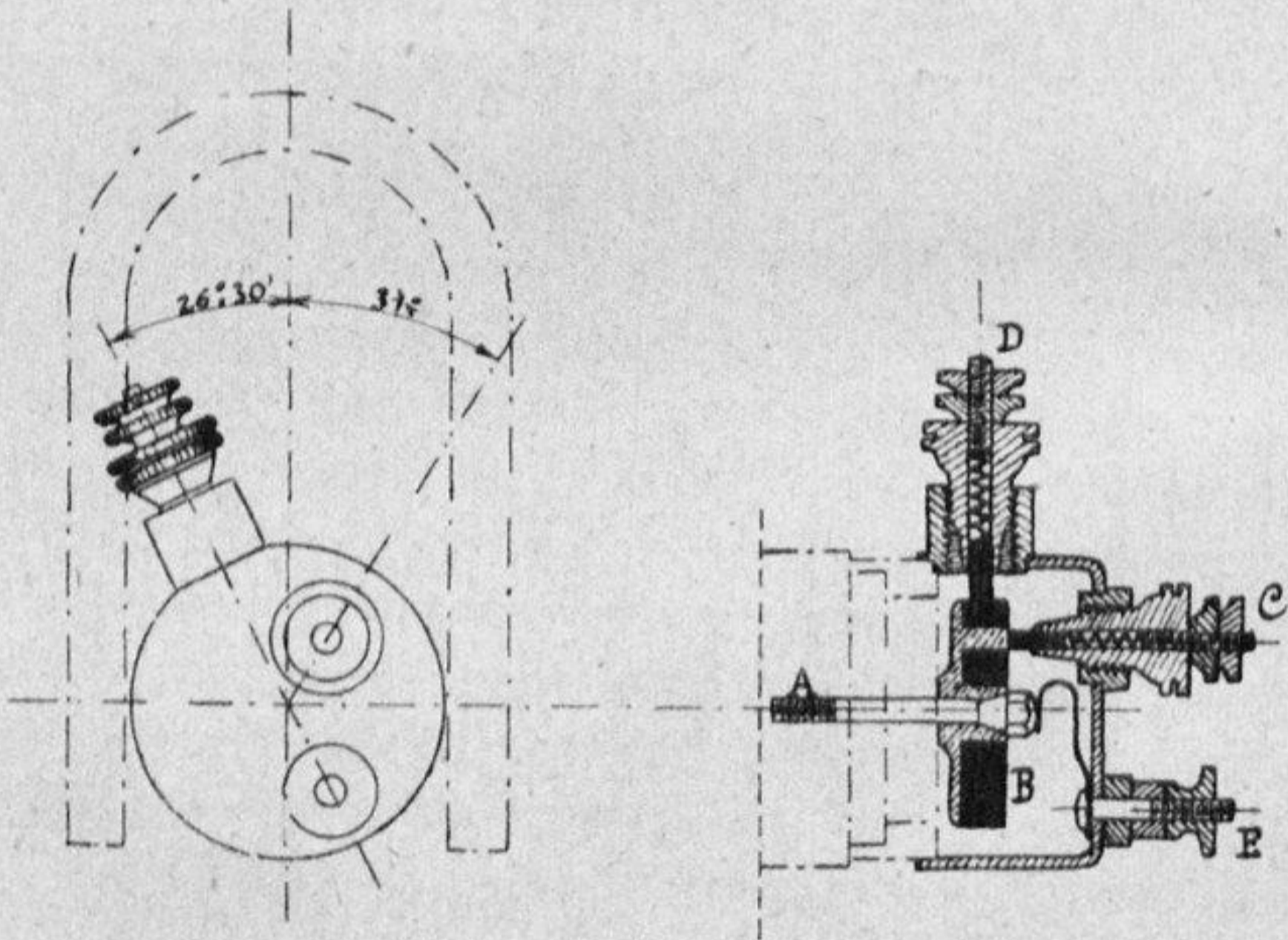


Fig. 41. — Alternateur Clerget.

est fixé, par la vis A, un distributeur B, formé d'une surface isolante dans laquelle est encastré un plot métallique. Le charbon isolé C s'appuie contre la surface isolante et est en relation facultative avec la masse.

Le charbon D vient en contact avec le plot, à chaque révolution de la magnéto. Ce contact, qui met la magnéto à la masse, a une durée de moins d'une demi-révolution et a lieu pendant la période où se produit la séparation des vis platinées.

La magnéto donnant 2 étincelles par tour, l'une est supprimée à chaque révolution, de sorte que nous n'avons plus qu'une étincelle par tour.

La borne E permet la mise à la masse habituelle.

Un appareil appelé *combinateur* permet d'obtenir, avec un seul commutateur, l'arrêt, le ralenti, la marche (fig. 42).

La magnéto de droite alimente les bougies placées à l'avant du sens de rotation, celle de gauche les bougies placées à l'arrière. Le système précédemment décrit est monté sur la magnéto de droite.

Les bornes E, E', de masse de chaque magnéto, sont reliées aux bornes 1-2 du combinateur. La borne C est reliée à la borne 3, la masse à la borne 4. Un contact supplémentaire peut être intercalé dans le circuit et relié aux bornes 1 et 3. D'où le fonctionnement :

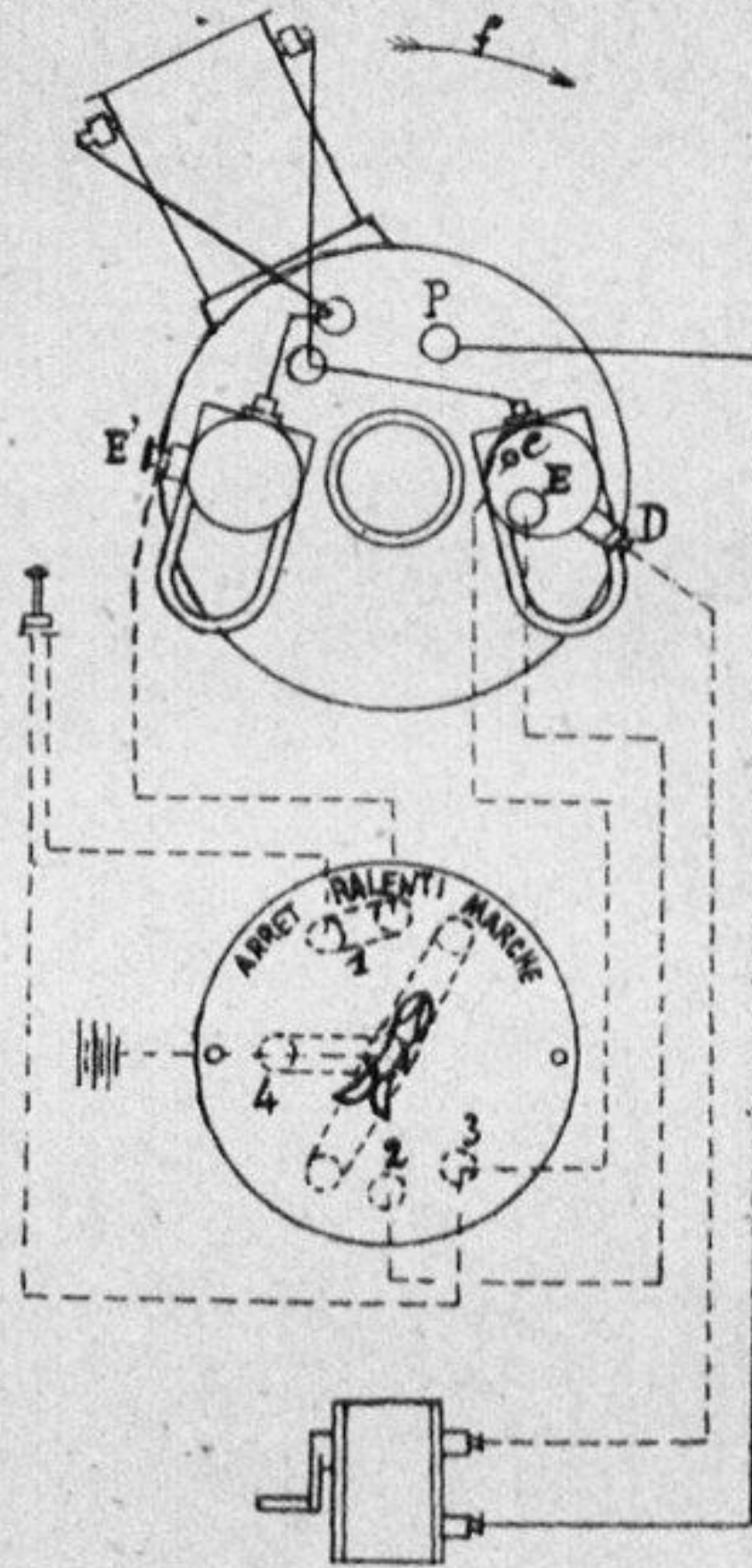


Fig. 42. — Schéma d'installation du combinateur et de la magnéto de départ.

1° *Le bouton du commutateur étant à gauche*, les bornes 1 et 3 relient les masses E et E' et les magnétos s'interrompent l'une par l'autre : c'est *l'arrêt*.

2° *Le bouton étant au milieu*, les bornes 1 et 2 relient la masse de la magnéto de gauche avec l'alternateur de celle de droite : c'est *le ralenti*.

3° *Le bouton étant à droite*, les masses et la borne D sont isolées et les magnétos fonctionnent normalement : c'est *la marche normale*.

4° Toujours dans la même position, le contact supplémentaire, pouvant relier 1 et 3, c'est-à-dire D et E', permet *l'interruption totale*.

La Maison Gnome adopte sur le moteur monosoupape le *sélecteur de vitesse* pour varier la vitesse du moteur. Le principe du mécanisme est le même que le précédent, mais la réalisation différente et on peut obtenir, au combinateur, 4 séries de vitesses, dont 3 de ralenti.

Le sélecteur se compose d'un tambour en bronze tournant au $\frac{1}{4}$ de la vitesse de la magnéto. Un tour de tambour correspond donc à 4 tours de la magnéto ou à 8 allumages. Ce tambour est divisé en 4 zones, dans le sens de sa longueur, et à chacune d'elles correspond une borne isolée avec un frotteur en charbon (fig. 43).

La première zone est divisée en 8 parties égales (4 en ébonite, 4 en bronze).

La deuxième zone a deux parties en ébonite diamétralement opposées.

La troisième zone a une seule partie en ébonite.

La quatrième zone est un cercle continu en bronze.

Si nous relient le primaire de la magnéto à la borne n° 3, correspondant à la première zone, la moitié des allumages passera à la masse. Nous aurons un allumage

tous les 4 cylindres, soit 9 allumages en 4 tours. L'ordre d'allumage sera :

1 — 5 — 9 — 4 — 8 — 3 — 7 — 2 — 6 —

Si nous réunissons le primaire à la borne n° 2, correspondant à la deuxième zone, les $\frac{3}{4}$ des allumages

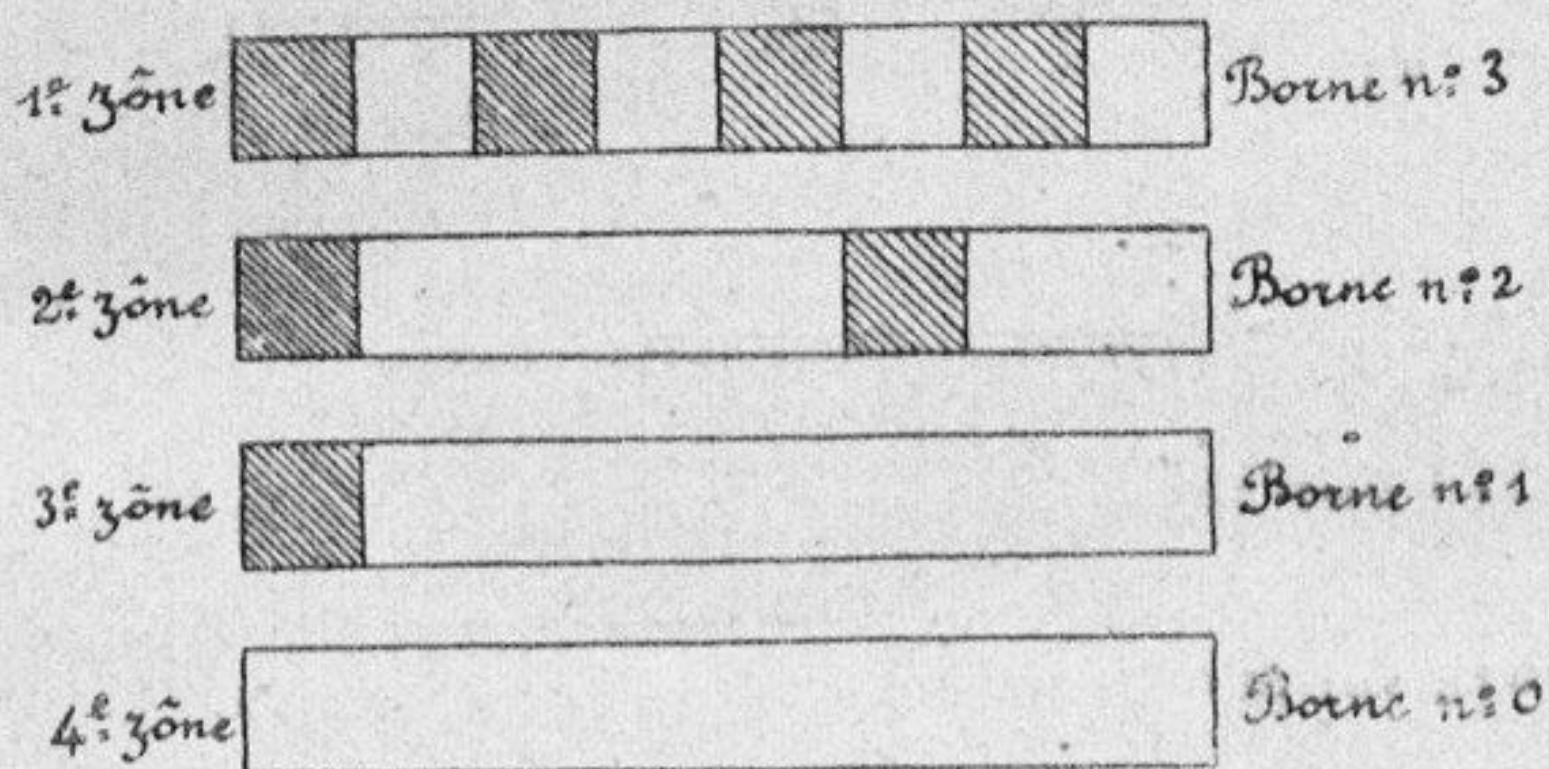


Fig. 43. — Zones du sélecteur de vitesse Gnome.

passeront à la masse. Nous aurons un allumage tous les 8 cylindres, soit 9 allumages en 8 tours. L'ordre d'allumage sera :

1 — 9 — 8 — 7 — 6 — 5 — 4 — 3 — 2 —

En opérant de même pour la borne n° 1, correspondant à la troisième zone, nous n'aurons plus qu'un allumage tous les 16 cylindres, soit 9 allumages en 16 tours. L'ordre d'allumage sera :

1 — 8 — 6 — 4 — 2 — 9 — 7 — 5 — 3 —

Enfin, en reliant le primaire à la borne n° 0, correspondant à la quatrième zone, nous aurons l'interruption totale.

Le combinateur permet de faire passer le courant

primaire sur une des 4 zones indifféremment (fig. 44). Le courant primaire arrive sur la borne centrale A. Quatre autres bornes, réparties sur un même rayon, sont

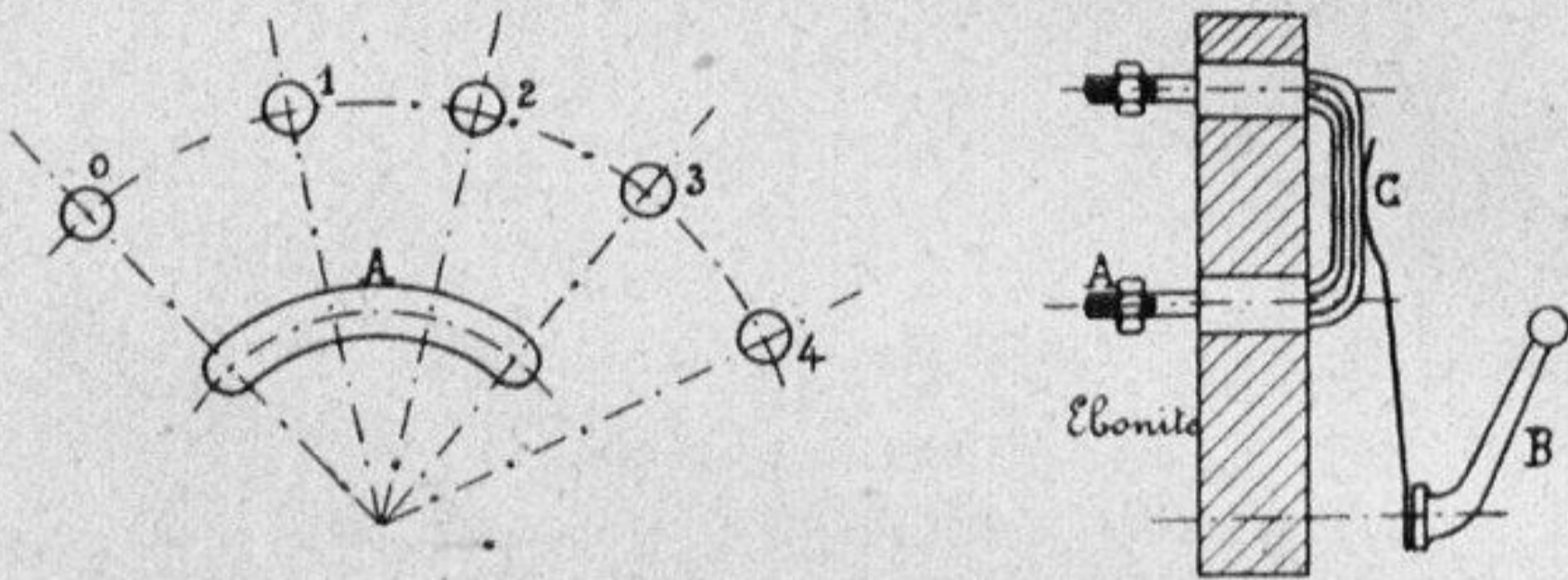


Fig. 44. — Combinateur Gnome.

reliées aux bornes correspondantes du sélecteur. Un levier B, muni d'un contact C, permet de faire passer ce courant par l'une quelconque des 4 bornes.

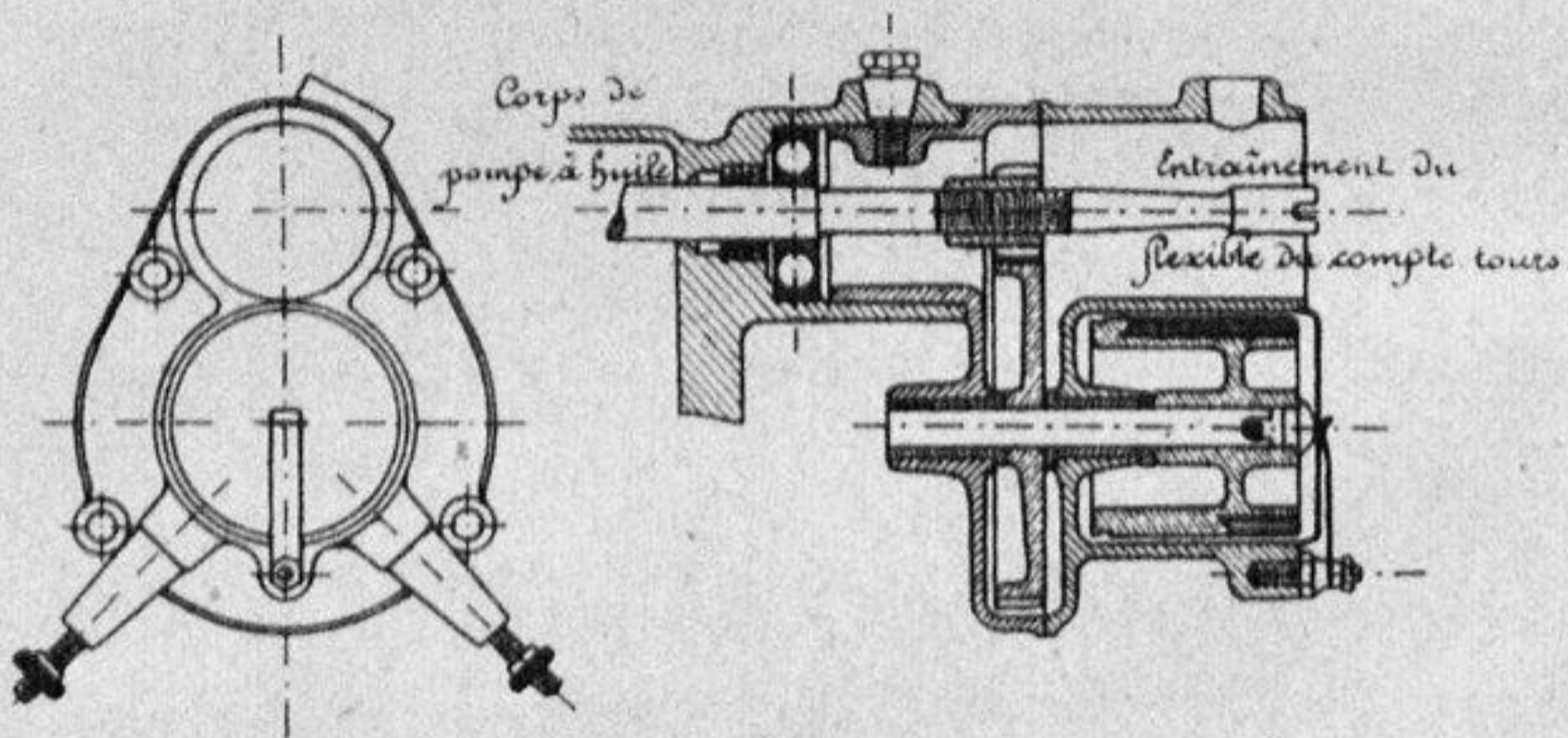


Fig. 45. — Montage du sélecteur sur la pompe à huile.

En partant de la position O, pour laquelle on a le contact à la masse, nous aurons successivement :

A la position 1, 1 allumage sur 8.

— 2, 2 — 8.

— 3, 4 -- 8.

— 4, l'ensemble de l'appareil est hors circuit, l'ordre d'allumage est normal.

Le sélecteur se monte à la place de l'entraîneur du flexible du tachymètre, c'est-à-dire en bout de l'arbre de la pompe à huile, comme le montre la figure 45.

En supposant une vitesse normale du moteur de

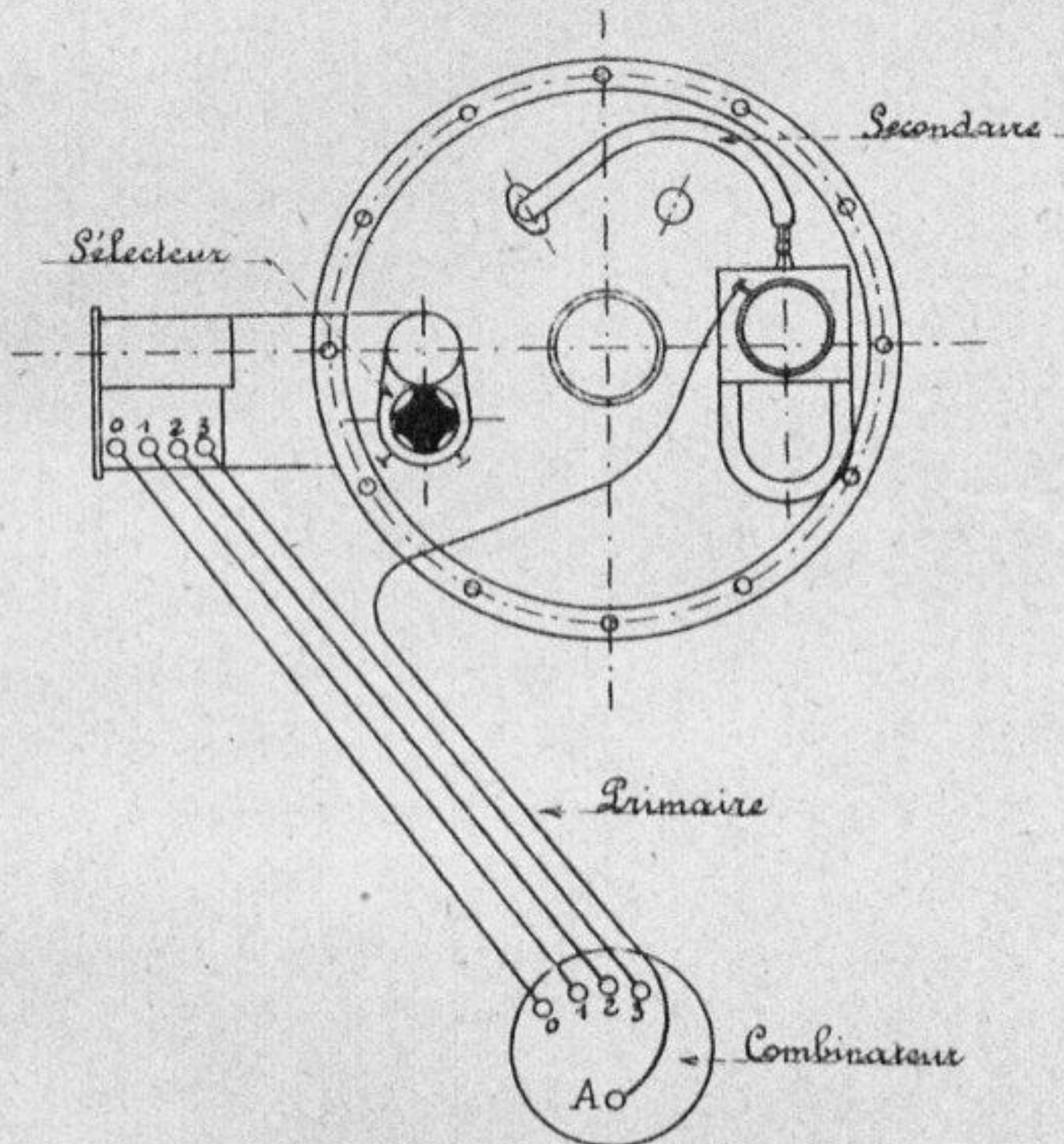


Fig. 46. — Schéma de montage du sélecteur.

1 200 tours, le mécanisme permet d'obtenir la gamme des vitesses suivante :

360 — 620 — 900 tours par minute.

Ces mécanismes de ralenti par l'allumage ne peuvent être considérés comme une boîte de changement de vitesses mais ils permettent :

1° De laisser tourner le moteur sans entraîner l'appareil.

2° Le vol horizontal en descente légère.

3° La descente rapide, sans couper l'allumage, sans crainte d'arrêter le moteur.

La figure 46 indique le schéma de montage du mécanisme.

Les bougies d'allumage.

La bougie est l'organe qui réalise l'interruption du circuit secondaire. Elle comprend un culot métallique

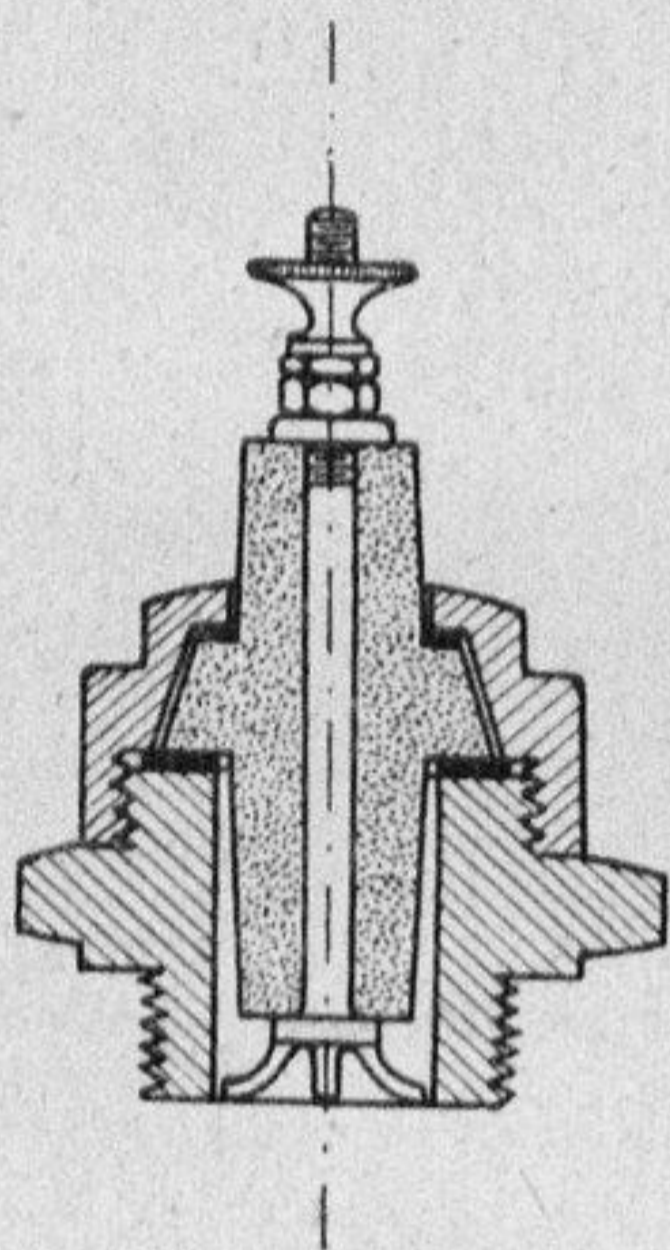


Fig. 47. — Bougie d'allumage.

traversé par une tige conductrice et soigneusement isolée (fig. 47).

Cette tige reçoit directement le courant secondaire du distributeur et constitue une électrode, l'autre électrode est constituée par le culot, relié à la masse par le contact provenant du vissage de la bougie sur la chambre de compression.

QUALITÉS DES BOUGIES. —

1° Les bougies doivent être *robustes*, et la difficulté d'obtenir cette qualité réside en ce que la matière isolante est soumise à des températures très différentes, une partie étant en contact avec les gaz chauds, l'autre avec l'extérieur. Ces différences de température provoquent la rupture (porcelaine) ou la dislocation (mica) de l'isolant si la forme, la qualité et le montage de celui-ci n'est pas convenable. Les joints doivent être métallo-plastiques, le centrage des pièces exact par serrage sur parties coniques ou sphériques.

2° L'isolant doit être d'une constitution supportant les hautes températures ; sinon il brûle et les particules de carbone libérées dans sa masse lui donnent de la conductibilité, provoquant des courts-circuits et supprimant l'étincelle aux électrodes.

3° Les bougies doivent être *difficilement encrassables* par une disposition convenable des électrodes et une position rationnelle de la bougie sur le cylindre. L'écartement des électrodes ne doit pas dépasser 5/10 de millimètre.

4° Les bougies ne doivent *pas produire d'auto-allumage* : on évitera les pointes trop aiguës qui peuvent être portées à l'incandescence et y demeurer pendant la période de compression.

POSITION DES BOUGIES SUR LES CYLINDRES. — Dans le moteur fixe, l'emplacement des bougies n'a guère d'autre importance qu'au point de vue de la répartition des organes sur le cylindre (soupapes, chemises d'eau, etc...). Dans le rotatif d'autres considérations interviennent, qui prohibent certaines dispositions : c'est ainsi que, placée sur le fond d'un cylindre, la bougie s'encrasse, la force centrifuge entraînant les résidus de la combustion vers le fond du cylindre. De même, placée sur la portion du demi-cylindre ABCD opposée à la rotation (fig. 48), l'inertie entraîne également l'encrassement.

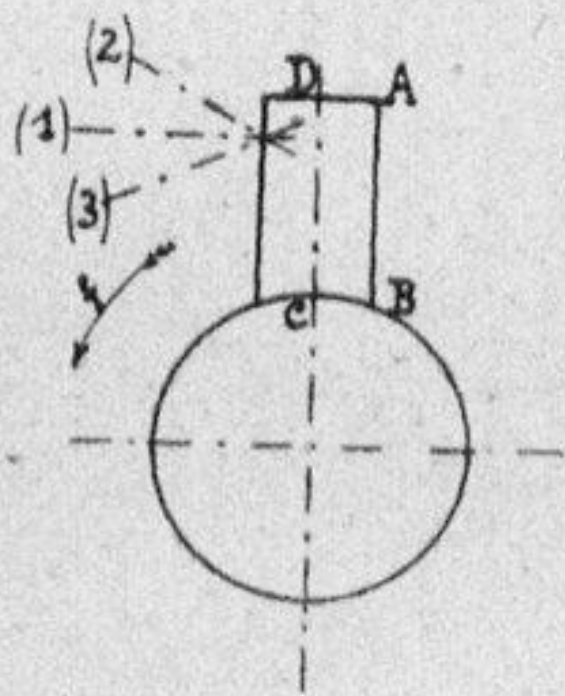


Fig. 48.— Position des bougies sur les cylindres.

Pour choisir convenablement l'emplacement, il faut considérer :

1° *Le moindre encrassement.*

2° *Le refroidissement maximum* du culot, extérieur au cylindre.

Dans tous les cas, la bougie est placée sur la demi-portion du cylindre, dans le sens de rotation, ce qui satisfait aux deux conditions énoncées (fig. 48).

Tantôt la bougie est normale à l'axe du cylindre (position 1); tantôt inclinée vers l'axe du moteur (position 2), et immédiatement au-dessous de la soupape d'échappement, pour que les gaz refoulés viennent faire un léchage des électrodes et les nettoyer; tantôt inclinée en sens inverse (position 3) pour éviter les dépôts d'huile que la force centrifuge vient accumuler dans la partie creuse de la bougie.

On a remarqué que chaque genre de moteur avait un genre de bougie qui lui convenait particulièrement. Ceci s'explique par les considérations précédentes.

Magnéto de départ.

L'emploi de la magnéto de départ, sur un rotatif, présente quelques difficultés.

Tout d'abord on ne peut utiliser le charbon de la magnéto de marche qui ne permet l'allumage qu'avec une certaine avance avant le point mort. Il nous faudra un charbon spécial, décalé sur le précédent dans le sens du mouvement et de telle façon qu'il n'entrera en contact avec le plot que lorsque le cylindre correspondant aura dépassé le point mort haut.

De plus, avec le distributeur ordinaire, les plots passent successivement devant le charbon dans l'ordre de la suite des cylindres : 1, 2, 3, ... n . Si nous envoyons un courant, sans discontinuité, de la magnéto de départ,

les cylindres allument dans ce même ordre. Il s'en suivra qu'une étincelle jaillira aux fins de compression, ce qui donnera une impulsion au moteur pour le départ, mais aussi au moment de l'admission, ce qui donnera des retours au carburateur. Le départ peut ainsi avoir lieu, mais il n'est pas rationnel.

Il faut des dispositions spéciales pour obtenir que l'allumage n'ait lieu que pour les cylindres à la compression. Avec le mécanisme de ralenti précédemment décrit de la maison Clerget, ce résultat est obtenu très facilement.

Le courant de la magnéto de départ est envoyé au charbon P (fig. 42) en relation avec les bougies par les plots et les fils. Le fil de masse est relié à la borne D (fig. 41) montée sur l'alternateur B, dont la circonférence est métallique ; il en résulte que la magnéto de départ est normalement à la masse. Pour permettre l'envoi du courant aux moments voulus, deux dégagements opposés, placés dans l'axe de l'alternateur, sont remplis de matière isolante. Quand le charbon de la borne D passe sur ces dégagements isolés, la magnéto de départ fonctionne et le courant est transmis aux bougies.

CHAPITRE V

LA CARBURATION

Principes.

La carburation a pour objet la formation du mélange gazeux, susceptible d'être employé dans le cylindre, pour accomplir le cycle.

Ce mélange est composé d'air atmosphérique, le *comburant*, et d'un *combustible*, l'essence de pétrole, dans le cas qui nous intéresse. La densité de l'essence est 0,7 environ, son pouvoir calorifique 10 500 calories et un moteur consomme en moyenne 300 grammes par cheval-heure ou :

$$10\,500 \times 0,3 = 3\,150 \text{ calories,}$$

ce qui correspond à un travail de :

$$426 \times 3\,150 = 1\,341\,900 \text{ kilogrammètres.}$$

Or, 1 cheval-heure correspond à :

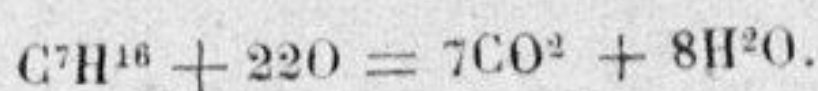
$$75 \times 3\,600 = 270\,000 \text{ kilogrammètres.}$$

Dès lors, le *rendement thermique* d'un moteur est :

$$\frac{270\,000 \text{ kgm.}}{1\,341\,900} = 0,2 \text{ environ.}$$

L'essence est un mélange d'hydrocarbures, de formule C^nH^{2n+2} , dans lequel domine l'heptane ($n = 7$). La

combustion exige de l'oxygène et la réaction donne CO^2 et HO^2 :



Il faut donc 22 volumes d'oxygène pour brûler 1 volume d'heptane. Etudions la réaction en poids, en prenant pour poids atomiques :

$$\text{C} = 12, \quad \text{O} = 16, \quad \text{H} = 1.$$

Pour brûler : $7 \times 12 + 1 \times 16 = 84 + 16 = 100$ grammes d'essence il faut $22 \times 16 = 352$ grammes d'O, et pour brûler 1 gramme d'essence, il faut :

$$\frac{352}{100} = 3,52 \text{ gr. d'oxygène.}$$

Or, sur 1 gramme d'air, il y a 0,23 gr. d'O. Pour brûler 1 gramme d'essence il faut donc $\frac{3,52 \text{ gr.}}{0,23} = 15,3$ gr. d'air dont le volume est : $\frac{1,293}{15,3} = 11,8$ litres.

Pratiquement, il faut 20 grammes d'air ou $\frac{20}{1,293} = 15$ à 16 litres d'air.

Nous avons déterminé la quantité d'air nécessaire à une bonne carburation. D'autres conditions doivent être remplies :

Il faut :

1° Que le mélange ait les proportions voulues, condition difficile à réaliser à cause des variations des conditions atmosphériques et des variations du régime du moteur.

2° Que le combustible soit amené à l'état de vapeur. Les particules restées liquides ne pouvant entrer dans le mélange explosif.

3° Que le mélange soit homogène, l'explosion étant ainsi spontanée.

4^e Que la température du mélange soit convenable. Si elle est trop élevée, le remplissage se fait mal, du fait du volume trop grand des gaz frais. Si elle est trop basse, on peut craindre la condensation de l'essence.

Le moteur rotatif est à peu près exclusivement employé en aviation et la carburation présente un caractère différent de celui des moteurs fixes industriels ou des moteurs des véhicules terrestres. Tout d'abord, il est à remarquer que ces moteurs sont étudiés en vue d'un maximum de puissance et qu'ils ne s'écartent guère de ce maximum. Le problème n'est donc pas à envisager principalement en vue des variations de régime des moteurs, mais il revêt un caractère beaucoup plus compliqué par les variations des conditions atmosphériques qu'entraînent les différences d'altitudes.

Le dosage $\frac{q_{\text{essence}}}{q_{\text{air}}}$ qui doit être constant, à terre, si on ne change pas le régime du moteur, varie donc quand on s'élève, avec la pression atmosphérique, la température, l'état hygrométrique. Le carburateur automatique à niveau constant, qui assure le dosage propre à chaque régime de marche, peut donc être remplacé par le *carburateur à injection directe*. L'intérieur du carter constituant une capacité où le mélange est énergiquement brassé, assurant son homogénéité, l'injection directe devient un avantage, car elle substitue un organe simple à un organe compliqué et délicat.

Carburateur à injection directe.

Considérons la figure 49. Soient Ω la section du diffuseur, V_a la vitesse de l'air dans le diffuseur et q_a le débit d'air.

On a :

$$q_a = \Omega V_a.$$

Soit H , exprimé en millimètres d'eau, la dépression provenant de l'aspiration du moteur :

$$V_a = \sqrt{2gH \frac{D}{\delta_a}} \quad (1)$$

D étant la densité de l'eau (1 000), δ_a la densité de l'air à 0° et 760 millimètres (1,293), ceci en négligeant les

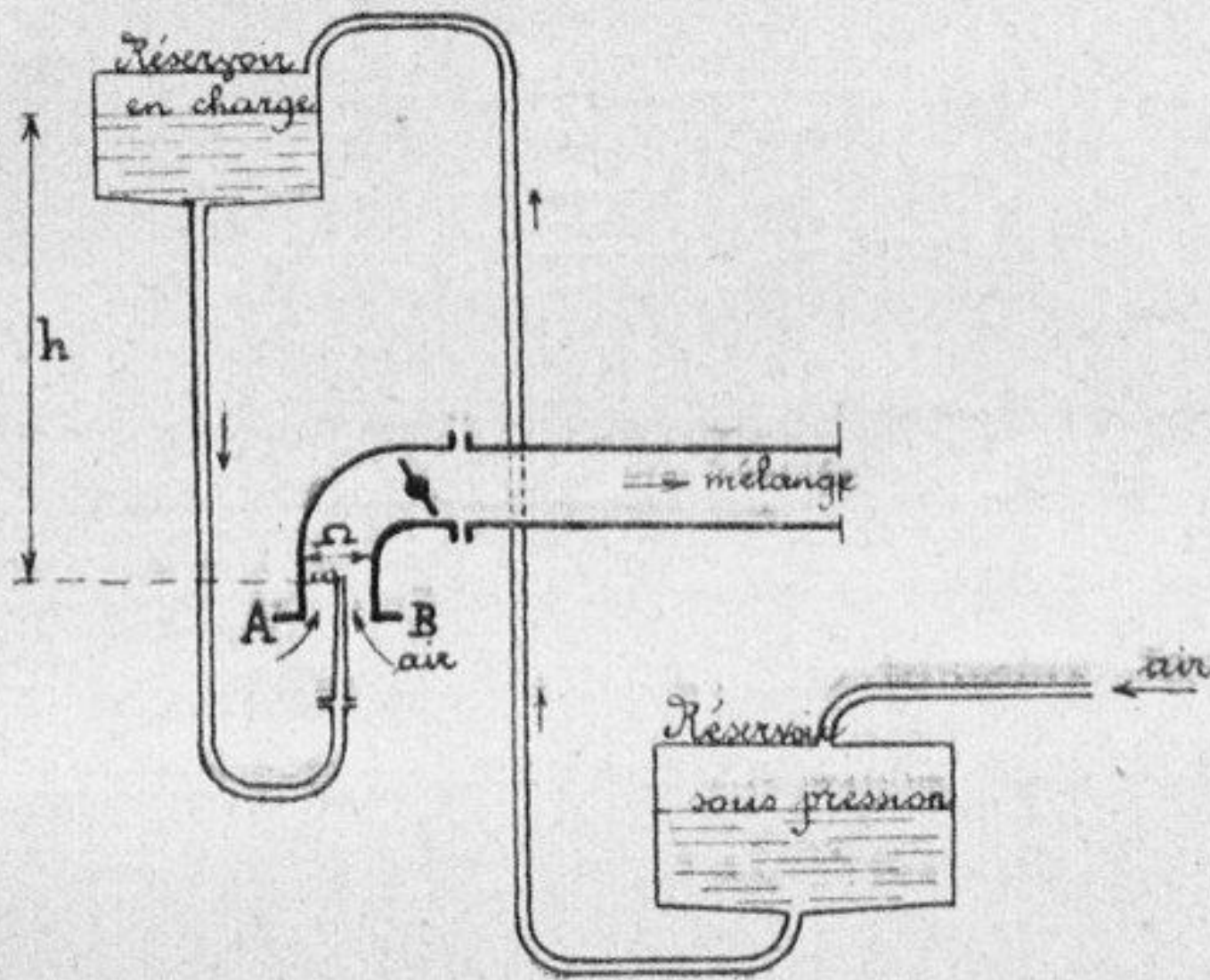


Fig. 49. — Installation du carburateur à injection directe.

pertes de charge dans les tuyauteries d'admission. En tenant compte de ces pertes de charge :

$$V_a = \sqrt{2g(H - x) \frac{D}{\delta_a}}$$

Soient, d'autre part, ω la section du gicleur, V_e la vitesse de l'essence, q_e le débit d'essence, δ_e la densité. On a :

$$q_e = \omega V_e.$$

Si l'essence est au niveau du gicleur :

$$V_e = \sqrt{2gH \frac{D}{\delta_e}} \quad (2)$$

Dans les avions, l'essence arrive au carburateur d'un réservoir en charge (fig. 49) généralement alimenté par un réservoir plus grand, sous pression, de façon que le niveau de l'essence dans le réservoir en charge soit sensiblement constant. Soit h la charge, (2) devient :

$$V_c = \sqrt{2g(H + h) \frac{D}{\delta_c}}$$

On a :

$$\begin{aligned} \frac{\text{essence}}{\text{air}} &= \frac{q_c}{q_a} = \frac{\omega V_c}{\Omega V_a} \\ &= \frac{\omega}{\Omega} \cdot \sqrt{\frac{H + h}{H - x}} \cdot \sqrt{\frac{\delta_a}{\delta_c}} \end{aligned}$$

Pour des vitesses angulaires constantes, toutes choses égales d'ailleurs, ce qui est le cas normal du régime de marche des moteurs d'aviation, $\frac{\omega}{\Omega} \sqrt{\frac{H + h}{H - x}}$ est sensiblement constant et les variations du rapport $\frac{q_c}{q_a}$ proviennent des variations de $\sqrt{\frac{\delta_a}{\delta_c}}$, c'est-à-dire des variations de la densité δ_a de l'air.

Variations de la carburation avec la pression atmosphérique.

Des expériences de puissance faites sur des moteurs fixes, à des altitudes élevées, notamment à Quito, à 2850 mètres d'altitude, ont montré que la puissance diminuait quand l'altitude augmentait.

Considérons un moteur utilisant l'énergie thermique d'une masse M de gaz carburé. Sa puissance P est fonction de cette masse et sensiblement proportionnelle à la quantité utilisée :

$$P = k.M.$$

Or, $M = V\delta$ (δ densité du mélange). Pour une vitesse

angulaire déterminée, toutes choses égales d'ailleurs, le volume aspiré V est invariable et par conséquent :

$$P = k'\delta.$$

Or, la loi de Mariotte nous indique que les densités varient comme les pressions :

$$\frac{p}{p_0} = \frac{\delta}{\delta_0} \quad (1)$$

Cherchons alors les variations des pressions en fonction de l'altitude.

Considérons (fig. 50) une masse cylindrique de gaz, de section unitaire, δ étant la densité de l'air sous l'unité de pression. A une hauteur H , au-dessus du niveau de base, de cote 0, la pression atmosphérique est p ($p < p_0$), la densité de l'air est δp .

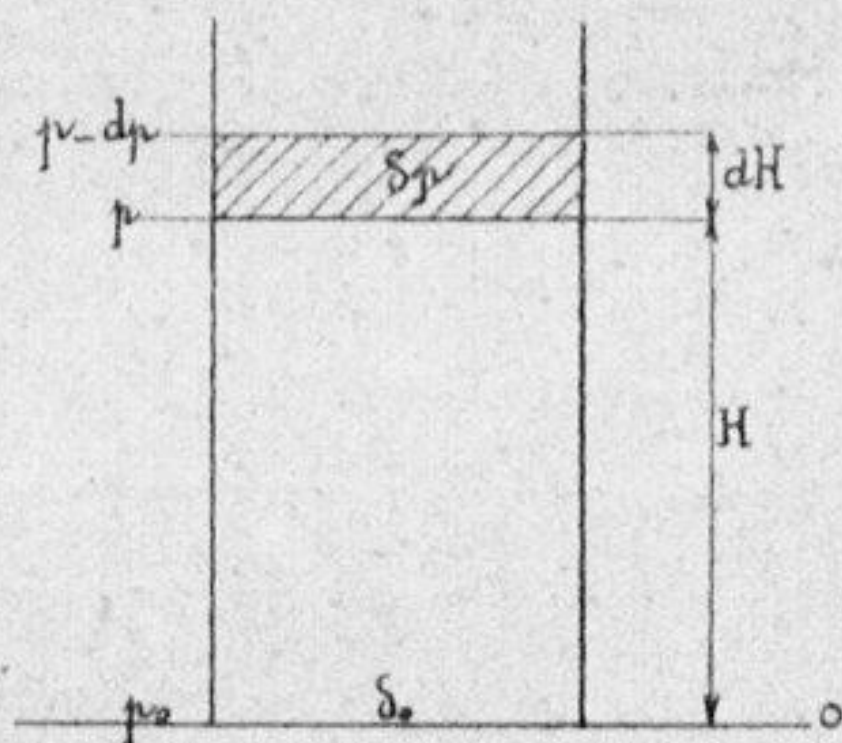


Fig. 50.

Considérons la couche hachurée, de hauteur dH , suffisamment petite pour que la densité soit constante, δp . La pression au plan supérieur est $p-dp$ et l'on a évidemment :

$$dp = - \delta p . dH.$$

ce qui peut s'écrire :

$$\frac{dp}{p} = - \delta . dH.$$

équation différentielle dont l'intégration donne de suite :

$$\log_e p - \log_e p_0 = - \delta H.$$

ou

$$\frac{p}{p_0} = e^{-\delta H} = \frac{1}{e^{\delta H}}.$$

$$\text{Or, (1)} \quad \frac{p}{p_0} = \frac{\hat{\delta}}{\hat{\delta}_0} = \frac{P}{P_0}$$

$$\text{Donc,} \quad \frac{P}{P_0} = \frac{1}{e^{\delta H}}$$

Ce qui montre que, si H croît en progression arithmétique, P décroît en progression géométrique.

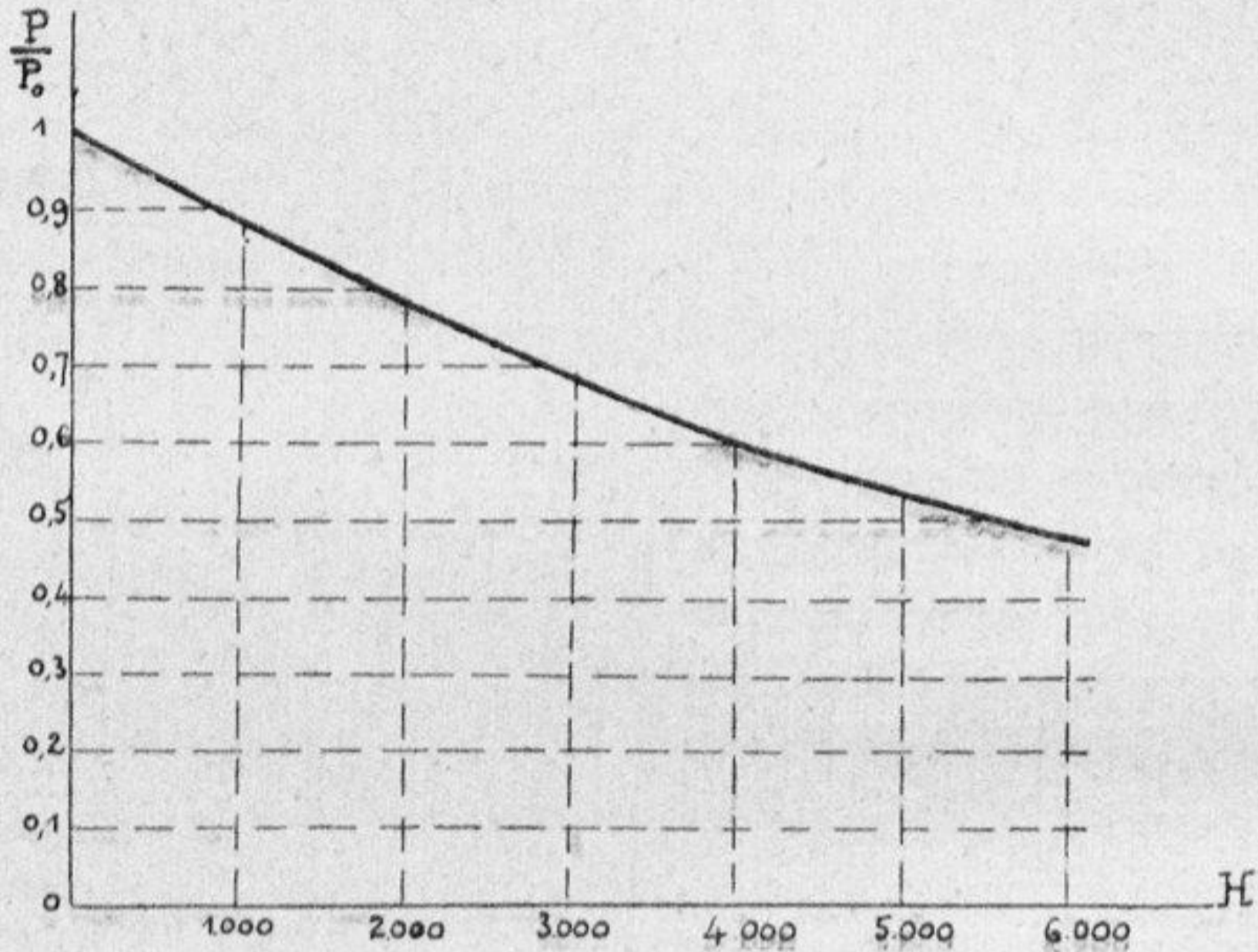


Fig. 51. — Variations de la puissance avec l'altitude.

Nous pouvons tracer la courbe :

$$\frac{P}{P_0} = f(H)$$

qui a l'allure ci-contre (fig. 51).

Quant on connaît p , au lieu de H , on a de suite :

$$\frac{P}{P_0} = \frac{p}{p_0}$$

Ainsi, un moteur de 80 HP donne, à 3 000 mètres, une puissance de :

$$80 \text{ HP} \times \frac{522}{760} = 56 \text{ HP environ.}$$

522 millimètres étant la pression atmosphérique à 3 000 mètres.

Si nous nous reportons à la courbe, à 3 000 mètres.

$$\frac{P}{P_0} = 0,69$$

ce qui donne pour P :

$$P = 80 \times 0,69 = 56 \text{ HP environ.}$$

REMARQUE. — Dans un véhicule aérien, à sustentation indépendante (dirigeables), la résistance à l'avancement est directement proportionnelle à la pression atmosphérique. De sorte que, la puissance du moteur et la résistance de l'air à la pénétration variant dans le même sens avec l'altitude, la vitesse du véhicule reste sensiblement constante à toutes les altitudes.

Mais dans l'aéroplane, où la sustentation est fonction de la vitesse, par conséquent de la puissance du moteur, le problème est plus compliqué et on constate une diminution sensible de la vitesse au fur et à mesure que l'on s'élève.

Réchauffage.

L'air entraîne l'essence sortant du gicleur et divise immédiatement le jet. Il se produit une vaporisation des gouttelettes, qui emprunte de la chaleur à l'air lui-même et à la tuyauterie. On se rend compte de ce refroidissement par le dépôt de buée, parfois de givre, déposé sur la tuyauterie. Dans un moteur fonctionnant au sol, il est nécessaire de réchauffer ces gaz frais à l'aide des gaz de l'échappement ou de la circulation d'eau du moteur, amenés dans une chambre concentrique à la tuyauterie.

Dans les moteurs aériens, ce refroidissement s'augmente par la diminution de température qui a lieu au fur et à mesure que l'on s'élève. Le réchauffage des gaz devrait donc croître avec l'altitude. Mais, dans le rotatif, les gaz passant par le carter y séjournent suffisamment pour s'élever à une température, du fait de l'échauffement du moteur, suffisante pour la bonne marche.

Divers types de carburateurs.

Le premier type adopté pour rotatif consiste en une simple pipe coudée, d'égale section, fixée en bout du vilebrequin (fig. 49). Un gicleur amène l'essence dans cette pipe et un volet réglable limite l'admission des gaz.

Ce système ne permet aucun réglage du mélange et on lui a ajouté un volet rotatif de prise d'air, dans le plan AB.

Les retours de flamme étant à craindre au carburateur, il faut autant que possible que le tuyau d'arrivée d'air soit vertical, de façon qu'à la mise en route l'essence trouve son écoulement hors de l'appareil. Dans le cas où le tuyau d'arrivée d'air débouche dans l'appareil, il est indispensable de le munir, en bout, d'une toile métallique qui arrêtera la flamme. La Maison Gnome fixait à l'extrémité du carburateur une sphère métallique creuse, percée de trous sur sa périphérie et doublée intérieurement d'une toile métallique.

Il est nécessaire d'avoir un réglage du débit d'essence par un robinet ou un pointeau placé sur la canalisation.

La charge de l'essence au-dessus du gicleur doit être

suffisante pour ne pas avoir de gicleur de trop grand diamètre, auquel cas l'inertie de la colonne d'essence, contenue dans la tuyauterie, n'étant plus freinée par le calibrage du gicleur, le débit est saccadé et le réglage impossible.

Le carburateur (fig. 52) est la conception la plus

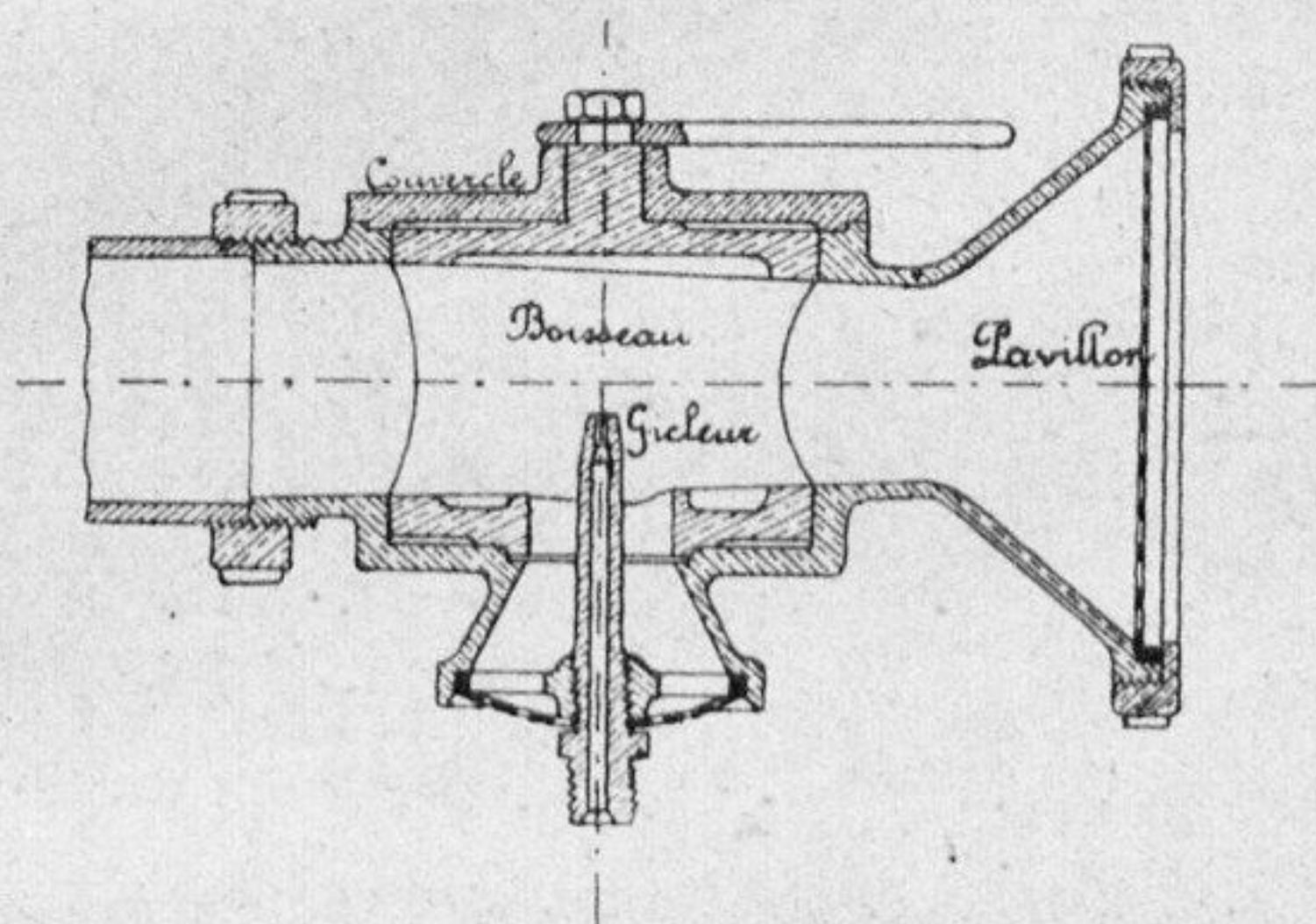


Fig. 52. — Carburateur injecteur Gnome.

simple pour l'injection directe. Il exige un réglage :

- 1° De l'arrivée d'essence ;
- 2° De l'admission d'air ;
- 3° De l'admission des gaz.

Il n'est plus guère employé et est remplacé avantageusement par le carburateur Tampier, monté sur tous les rotatifs.

Carburateur Tampier ou « Blocktube ».

Le système d'alimentation Blocktube comprend une tuyauterie spéciale, sur laquelle est placée un *frein-filtre* qui débarrasse l'essence de ses impuretés et règle

sa vitesse d'écoulement ; elle amène l'essence au carburateur où se fait le dosage d'air et où le trop-plein est envoyé à l'extérieur. Une boîte antiflamme, avec des tubes prenant l'air hors du fuselage, évite la propagation des gaz brûlés.

Le carburateur (fig. 53) comprend une boîte A dans laquelle se déplace un registre B qui règle à la fois les

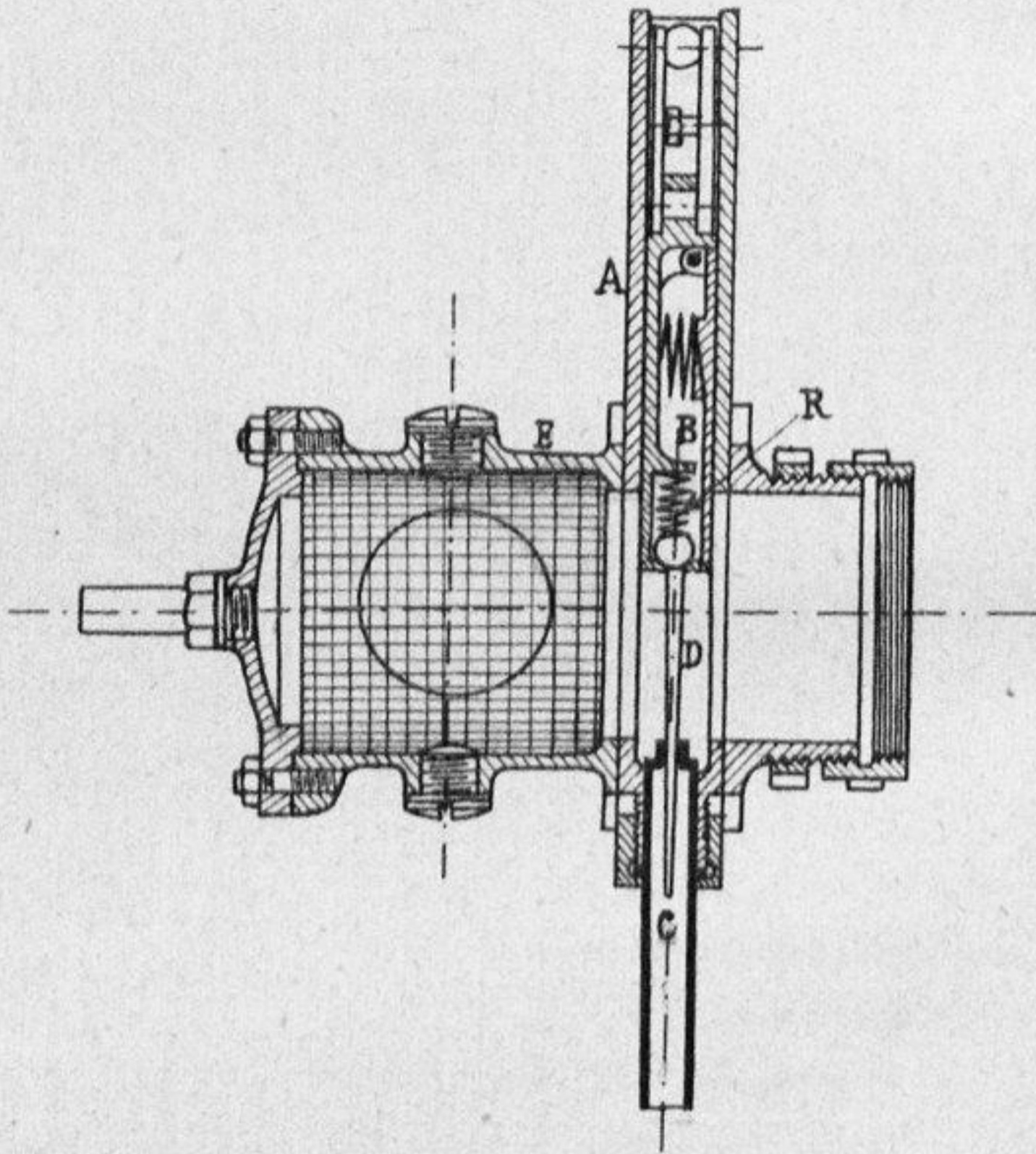


Fig. 53. — Carburateur Tampier ou Blocktube.

quantités d'essence et d'air aspirées dans les tubes d'admission. L'essence arrive par le gicleur C dans lequel la section de passage est rendue variable par le déplacement d'une aiguille D, dont les mouvements sont solidaires du registre B de réglage d'air.

Les sections variables de l'aiguille, par rapport aux

sections d'air correspondantes, donnent la proportion du mélange carburé. On conçoit que, si lors des déplacements du registre portant l'aiguille devant l'entrée d'air, cette aiguille reste cylindrique, la section de passage de l'essence sera constante et la quantité d'air admise, seule, sera modifiée. Une aiguille conique permettra les variations simultanées des débits d'air et d'essence.

Pour éviter tout coincement, l'aiguille est terminée par une bille, sur laquelle elle pivote, de façon à se centrer dans le jet d'essence, au gicleur. Ce montage a encore l'avantage d'éviter le matage des surfaces par l'action du ressort R.

Pour éviter que le registre B prenne de l'usure dans la boîte A, où il coulisse, une de ses surfaces est à volet, constitué par une plaquette mobile poussée par un ressort.

Sur le blocktube est boulonnée une boîte E, d'où partent les tubes de prise d'air à l'extérieur du fuselage. Si une explosion se produit dans le carter du moteur, les gaz brûlés sont directement expulsés au dehors. La boîte E renferme une toile métallique pour filtrer l'admission d'air.

Pour les pays froids, il peut être utile de réchauffer l'air d'admission. On substitue alors à la boîte E un couvercle spécial, portant un obturateur pour régler la quantité d'air admise par l'un des orifices de la boîte. Au moyen d'un tube coudé, on relie la boîte à l'échappement du moteur. L'air chaud, qui entoure les ailettes les plus chaudes des cylindres, est aspiré par dépression. Par temps froid on aspire l'air chaud et on règle la quantité d'air froid mélangé.

Le *frein-filtre* (fig. 54) est formé d'un corps cylin-

drique intérieurement A et séparé en deux parties par une pièce B, vissée et percée d'un orifice central. Une aiguille-bille C pénètre dans cet orifice et freine plus ou moins le débit de l'essence qui, arrivant dans la partie inférieure du corps, ne peut s'en écouler que par la

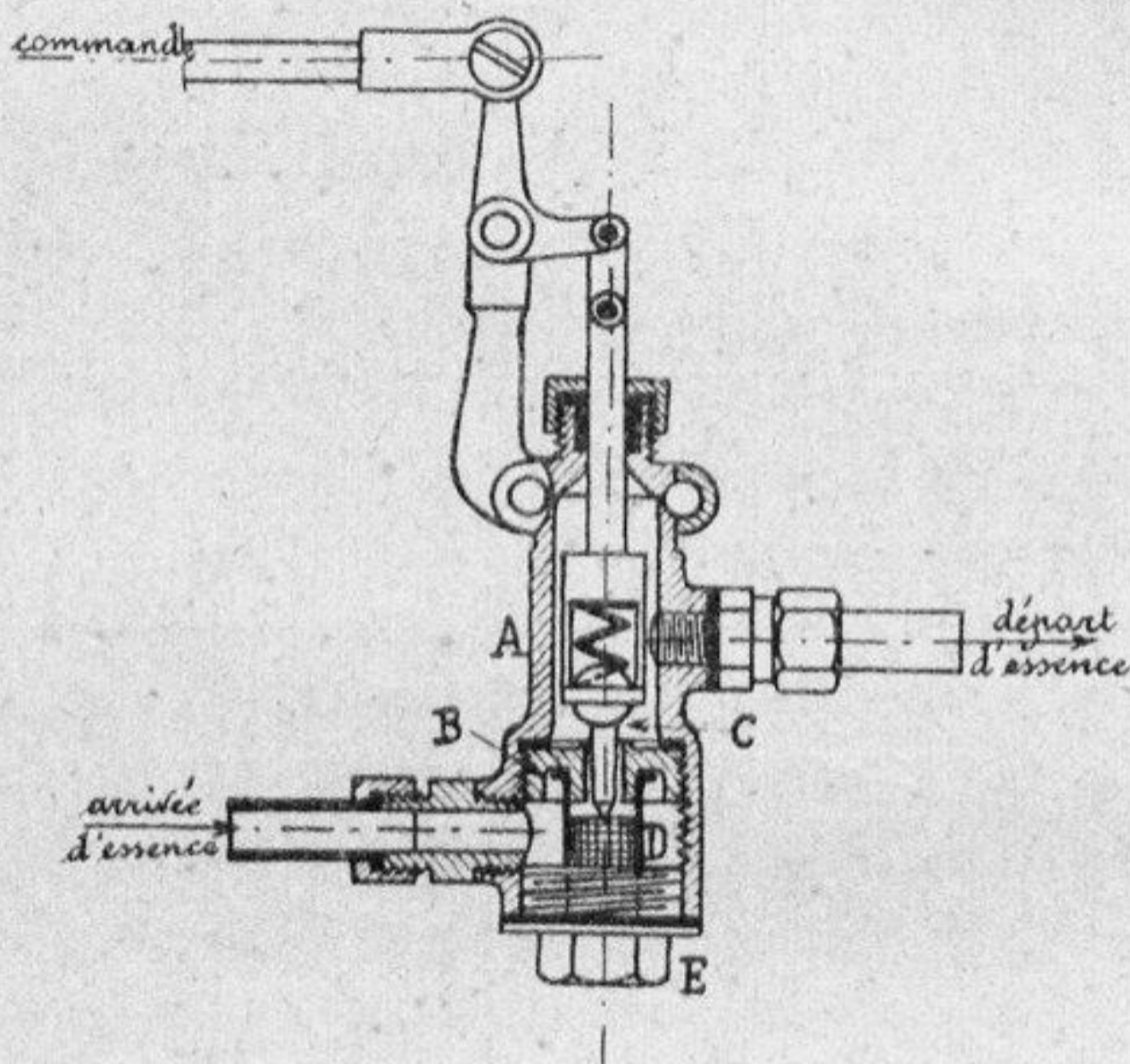


Fig. 54. — Frein-filtre Tampier.

chambre supérieure. Un filtre D, en toile métallique, nettoie l'essence ; la partie inférieure du frein-filtre doit être le point le plus bas de la tuyauterie, de sorte que l'eau que peut contenir l'essence, vient s'y déposer. Le dévissage de l'écran E permet la vidange de cette eau et des autres impuretés arrêtées.

Avec ce carburateur, le pilote n'a donc plus, comme commande, que deux manettes montées sur un secteur gradué, l'une commandant le volet et l'aiguille du gicleur simultanément et l'autre le frein-filtre.

CHAPITRE VI

LE GRAISSAGE ET LE REFROIDISSEMENT

Généralités.

Le graissage a pour but d'interposer entre deux parties frottantes un corps *lubrifiant* qui empêche le frottement direct de deux parties métalliques l'une sur l'autre. Pour que la pellicule de lubrifiant interposée puisse se maintenir, la pression entre les deux parties frottantes ne doit pas être trop élevée, sinon elle est chassée et le contact direct des parties métalliques amène le *grippage* à bref délai. Il faut, par suite, adopter une surface frottante suffisante, afin que la pression par unité de surface soit convenable.

Le lubrifiant doit présenter diverses qualités, suivant les conditions de fonctionnement des organes à graisser. Pour le moteur rotatif, en particulier, ces qualités sont les suivantes :

1° Le lubrifiant doit avoir une certaine *affinité* pour bien remplir les pores du métal et y adhérer ;

2° Il doit avoir une grande *viscosité* pour ne pas être instantanément chassé par la pression et par la force centrifuge ;

3° Il doit posséder de la *fluidité* pour se glisser partout, afin d'atteindre tous les organes ;

4° Le *point d'inflammabilité* doit être élevé car la tem-

pérature d'explosion est d'environ 1500° . A cette température aucune huile ne résiste, elle brûle; et le choix doit se porter sur l'huile qui laisse peu de déchets par sa combustion. Certaines, déposant par la combustion des particules solides de carbone, sont à prohiber.

5° Le lubrifiant doit être *insoluble dans les hydrocarbures*, car il se trouve dans le carter en contact direct avec le mélange carburé.

Toutes ces considérations ont conduit à prendre pour le rotatif l'huile de ricin. C'est une huile végétale, possédant une grande affinité et dont la viscosité varie peu avec la température; elle est de 140 à 20° . Cette huile se solidifie de -15° à -18° et au-dessous de 0° elle perd beaucoup de sa fluidité. Son pouvoir d'adhésion est très grand, d'où expulsion moindre par la force centrifuge. Sa combustion donne des produits moins agglutinants, moins charbonneux et moins durs que l'huile ordinaire. De plus, elle est insoluble dans l'essence, condition essentielle.

Trajet de l'huile.

Dans un tel moteur, le graissage sous pression s'impose. L'huile est placée dans un réservoir en charge et arrive directement à la pompe (fig. 55).

De là, elle est envoyée dans un ou plusieurs tubes graisseurs, placés à l'intérieur du vilebrequin, qui distribuent l'huile aux différents organes. Le vilebrequin est perforé, de même les bras et le maneton. Des trous débouchent sur la périphérie pour le graissage de l'embiellage, des roulements à billes et de la distribution (fig. 56). Par la force centrifuge l'huile monte le long

des bielles et gagne le pied de bielle, l'axe du piston, le piston et le cylindre.

Le carter renferme une brume d'huile, formée par le

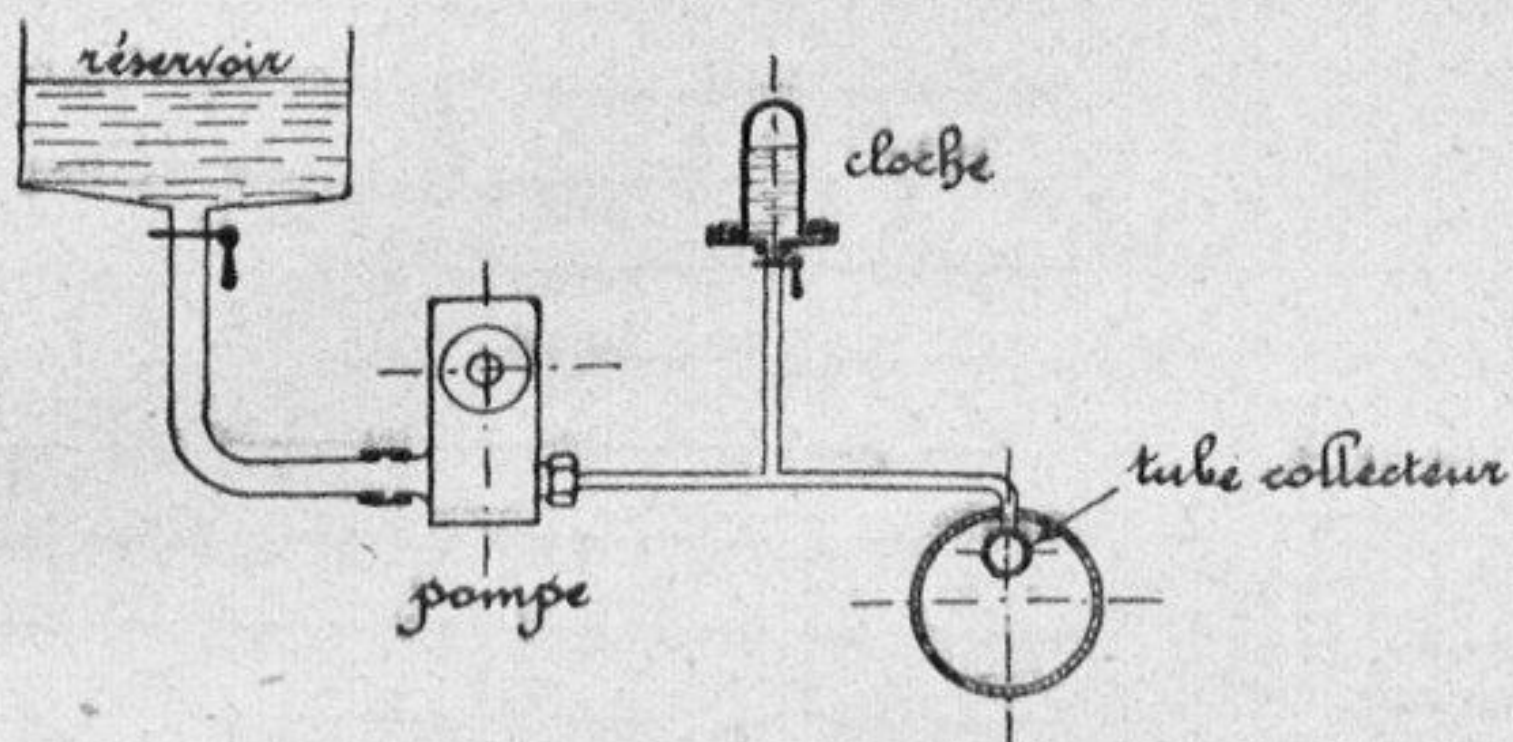


Fig. 55. — Trajet de l'huile.

brassage, qui graisse aussi les cylindres ; les gaz frais d'admission, chargés de cette brume, apportent aussi une quantité d'huile pour ce même graissage.

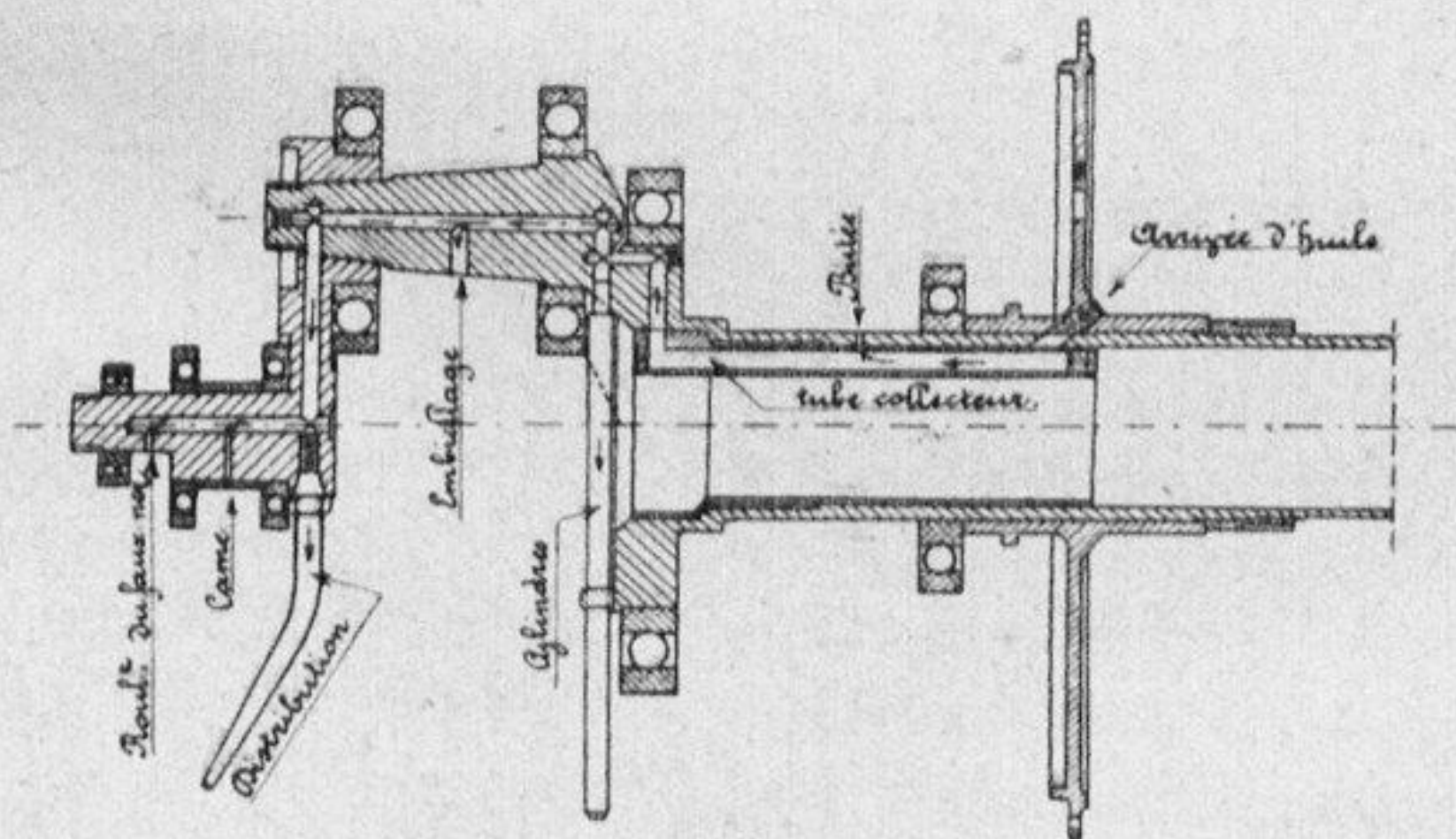


Fig. 56. — Circulation d'huile dans le vilebrequin.

Quand l'huile a accompli ce trajet elle est expulsée avec les gaz d'échappement.

Sur la tuyauterie qui mène l'huile de la pompe aux

tubes collecteurs du vilebrequin est dérivée une canalisation aboutissant à une cloche en verre ou *visueur manométrique* (fig. 57). Chaque coup de pompe communique une augmentation de pression dans la tuyauterie,

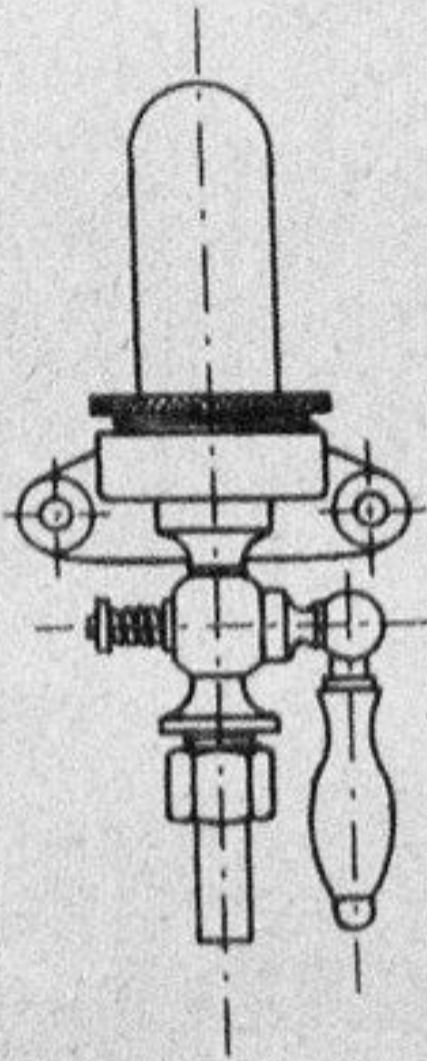


Fig. 57. — Cloche à huile.

laquelle se traduit par une pulsation, visible à la cloche. On est ainsi de suite renseigné sur le bon fonctionnement du graissage.

La pompe étant commandée par le moteur, par l'intermédiaire d'organes cinématiques, le nombre de pulsations indique, à une constante près, le nombre de tours du moteur. Cette constante est facile à déterminer, connaissant les rapports des vitesses des organes de commande intermédiaire entre le moteur et le piston de la pompe : soit k .

Si n est le nombre de pulsations, comptées à la cloche, pendant une minute, le nombre de tours du moteur pendant ce temps est :

$$N = kn.$$

Cette méthode de contrôle de la vitesse de rotation du moteur est assez précise pour des opérateurs bien exercés. En tous cas, elle n'est pas sujette aux erreurs qu'entraîne souvent le dérèglement des tachymètres et elle peut servir de moyen de vérification du tachymètre, à défaut de compte-tours.

Emploi de l'huile de ricin par temps froid.

Au-dessous de 0° l'huile de ricin se fige, perdant tellement de sa fluidité qu'elle traverse difficilement les

tuyauteries. Il est donc indispensable de réchauffer cette huile afin de lui donner sa limpidité naturelle. Pour des températures inférieures à -15° , la vidange des réservoirs s'impose. Mais pour des températures moins excessives, on se contente de réchauffer les réservoirs avec des réchauds spéciaux et de faire le plein, au moment du fonctionnement du moteur seulement, avec de l'huile chaude.

Pour des voyages de longue durée, on peut craindre la congélation complète de l'huile, surtout à des altitudes élevées, et par suite la rupture des tuyauteries aux durits. On a été amené à placer le réservoir d'huile immédiatement derrière le moteur, afin que les calories perdues par les parois soient absorbées en partie par le réservoir. On a imaginé aussi de faire traverser le réservoir par un tube de gros diamètre dans lequel circule une partie des gaz de l'échappement, récupérés par une canalisation appropriée; ou encore de faire passer la tuyauterie dans le carter, à la sortie de la pompe.

Les pompes à huile.

Une pompe à huile est établie de façon à donner un débit suffisant, propre à un graissage convenable du moteur. Sa construction doit être légère et robuste et d'un fonctionnement certain : un arrêt momentané provoquerait en effet un arrêt rapide du moteur, par grippage, ce qui occasionnerait sa perte, sans compter les inconvénients que provoque une panne en matière d'aviation.

Les pompes existantes sont à pistons simple ou multiples, à débit constant ou variable, à cylindre fixe ou oscillant. Le mécanisme est enfermé dans une boîte en

aluminium, pleine d'huile amenée directement du réservoir, qui constitue le carter de la pompe.

POMPE DES MOTEURS GNOME. — Elle comprend un carter d'aluminium toujours plein d'huile et alimenté directement par le réservoir. L'écrou-pignon arrière du moteur commande le pignon A de la pompe, sur l'arbre duquel est montée la vis sans fin B, à l'intérieur du

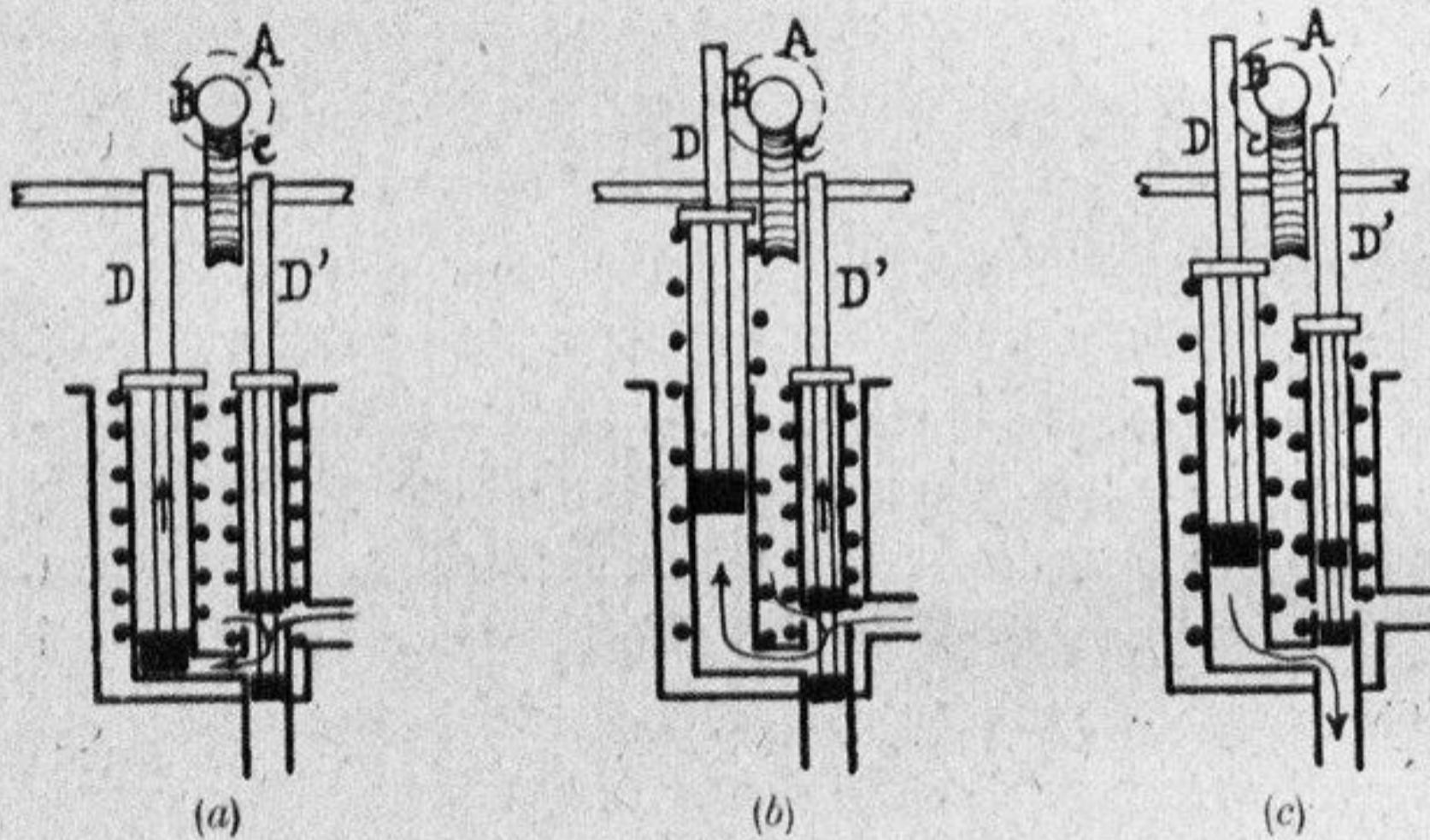


Fig. 58. — Schéma de fonctionnement de la pompe à huile Gnome.

carter. Cet arbre traverse le carter dans des presse-étoupe pour éviter les fuites d'huile et tourillonne sur des roulements à billes. La vis sans fin B commande la roue tangente C, montée sur l'arbre des cames D et D', calées à 90°. Chaque came commande deux pistons jumelés, rappelés par des ressorts, un groupe fonctionnant comme pistons de pompes, l'autre comme tiroirs. Les trois figures représentées (fig. 58) montrent le schéma du fonctionnement de la pompe :

a) *Le piston monte et le tiroir est immobile.* — L'huile est aspirée du carter, à travers le tiroir, et vient remplir le corps de pompe ;

b) *Le piston est immobile et le tiroir monte.* — L'huile a rempli le corps de pompe et le tiroir vient fermer la communication entre le corps de pompe et l'intérieur du carter.

c) *Le piston descend et le tiroir est immobile.* — L'huile aspirée dans le corps de pompe est refoulée dans la tuyauterie de graissage.

Cherchons le nombre de pulsations qu'on devra compter au viseur, pour un régime de marche du moteur à 1 200 tours. Les données sont :

Pignon du moteur : 42 dents
 Pignon de la pompe : 24 dents } Rapport : $\frac{42}{24} = \frac{7}{4}$.
 Roue tangente : 25 dents.

Vis sans fin : 1 filet.

La pompe tournera à une vitesse de :

$$\frac{1\ 200 \times 7}{4} = 2\ 100 \text{ tours.}$$

Nous aurons une pulsation pour un tour de la roue tangente, ou 25 tours de la vis sans fin, ou 25 tours du pignon de la pompe. Le nombre de pulsations sera donc, pour 1 200 tours du moteur :

$$\frac{2\ 100}{25} = 84.$$

La cloche à huile donnera une pulsation pour une rotation du moteur de :

$$k = \frac{1\ 200}{84} = 14,28.$$

La consommation horaire d'huile des moteurs Gnome est :

6 litres pour le 50 et le 60 HP.

7,5 l., pour le 80 HP.

POMPE DES MOTEURS RHÔNE. — Cette pompe se compose d'un carter plein d'huile amenée par un orifice de gros diamètre, fermé sur une de ses faces par une plaque en cuivre constituant le couvercle de distribution. Il est traversé dans sa partie centrale par un arbre AA' (fig. 59) portant clavetée la vis sans fin V commandée

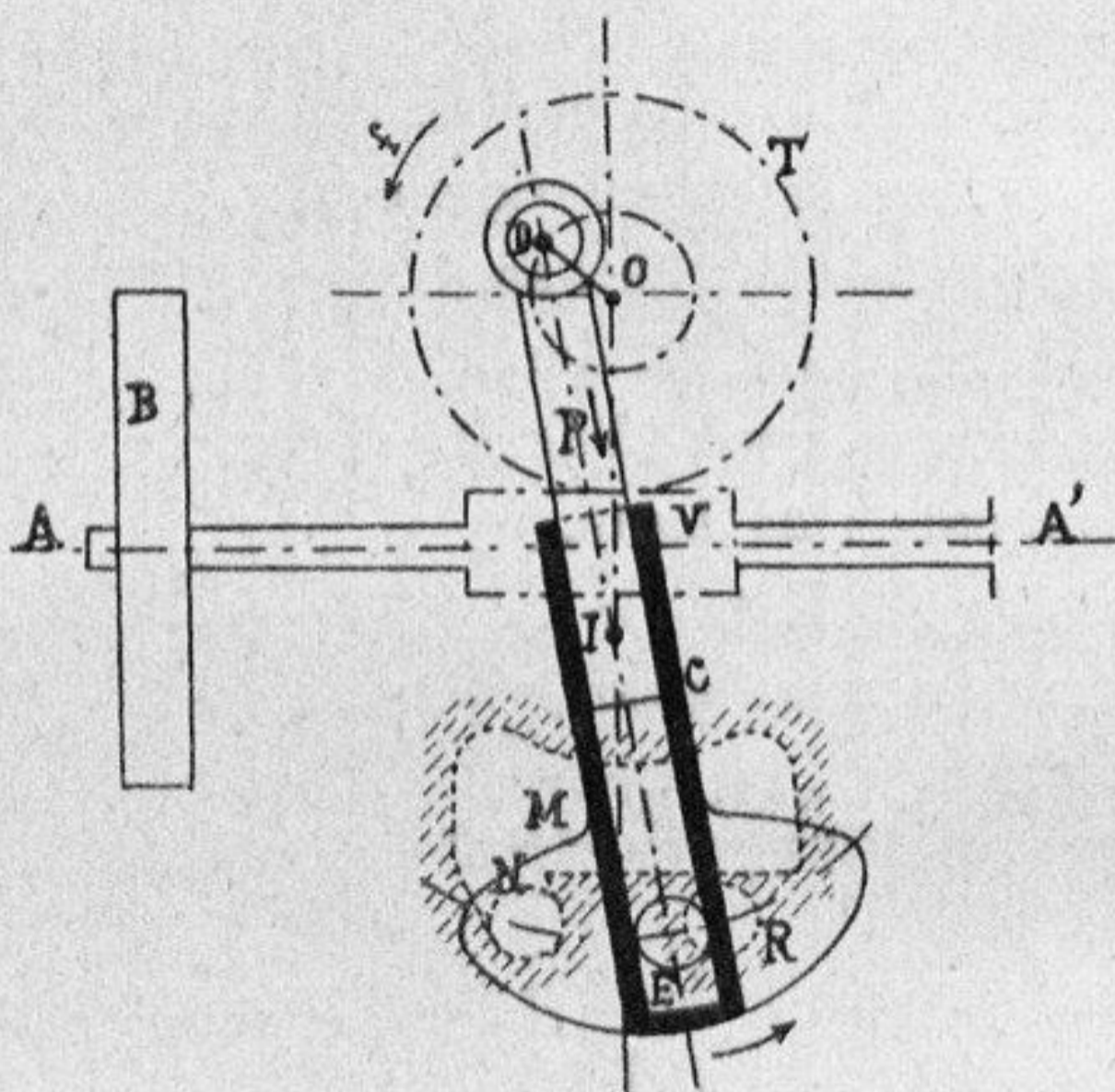


Fig. 59. — Pompe des moteurs « Le Rhône ».

par le pignon B , engrenant avec l'écrou-pignon arrière du moteur qui commande aussi la magnéto. Cet arbre AA' traverse les parois du carter à travers des roulements à billes et des presse-étoupe. La vis V , en tournant, entraîne la roue tangente T , montée sur un vilebrequin. Sur le maneton de ce vilebrequin est articulée l'extrémité du piston plongeur P , de la pompe, qui parcourt la circonférence OD . Le piston glisse dans le cylindre C qui oscille, autour de l'axe projeté en I , sur deux tourillons pris dans sa masse et logés dans des évidements du carter, d'un côté, du couvercle de dis-

tribution, de l'autre. Le cylindre a une partie extérieure parfaitement plane sur laquelle débouche le trou E et qui glisse sur la face intérieure glacée du couvercle de distribution. Celui-ci, fixé sur le carter par goujons et écrous, porte une cavité M, constamment pleine d'huile, qui se prolonge par le petit canal N, dont l'extrémité vient coïncider avec le trou E, à un fond de course d'oscillation du cylindre. Quand E vient sur N, le piston monte et l'aspiration d'huile a lieu. La pompe continuant à tourner, le piston descend, le cylindre oscille en sens inverse et le trou E vient correspondre avec l'orifice R, par où se fait l'expulsion de l'huile : le refoulement dans la tuyauterie de graissage a lieu.

Cette pompe sans clapet n'est susceptible d'aucun réglage.

Cherchons la constante k , par laquelle il faut multiplier le nombre de pulsations, au viseur, pour avoir la vitesse du moteur : les données sont :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Pignon du moteur : 36 dents} \\ \text{Pignon de la pompe : 20 dents} \\ \text{Roue tangente : 50 dents.} \\ \text{Vis sans fin : 1 filet.} \end{array} \right\} \text{Rapport : } \frac{36}{20} = \frac{9}{5}.$$

Une pulsation correspond à un tour de la roue T, à 50 tours de la vis sans fin V, à 50 tours du pignon B de la pompe, ou à $\frac{50 \times 5}{9} = 27,777$ tours du moteur.

$$k = 27,777.$$

La consommation horaire d'huile des moteurs le Rhône est :

5 litres pour le 80 HP.

7 litres pour le 110 HP.

POMPE DU MOTEUR CLERGET 80 HP. — La pompe à huile

est actionnée par le pignon A (fig. 60) engrenant avec l'écrou-pignon arrière du moteur. Sur son arbre est montée la vis sans fin B qui fait tourner la roue C. La bielle D actionne le piston P, à course fixe, portant sur le fond un orifice, obturé par une bille, sous la pression d'un ressort R. Le cylindre G est percé d'orifices sur

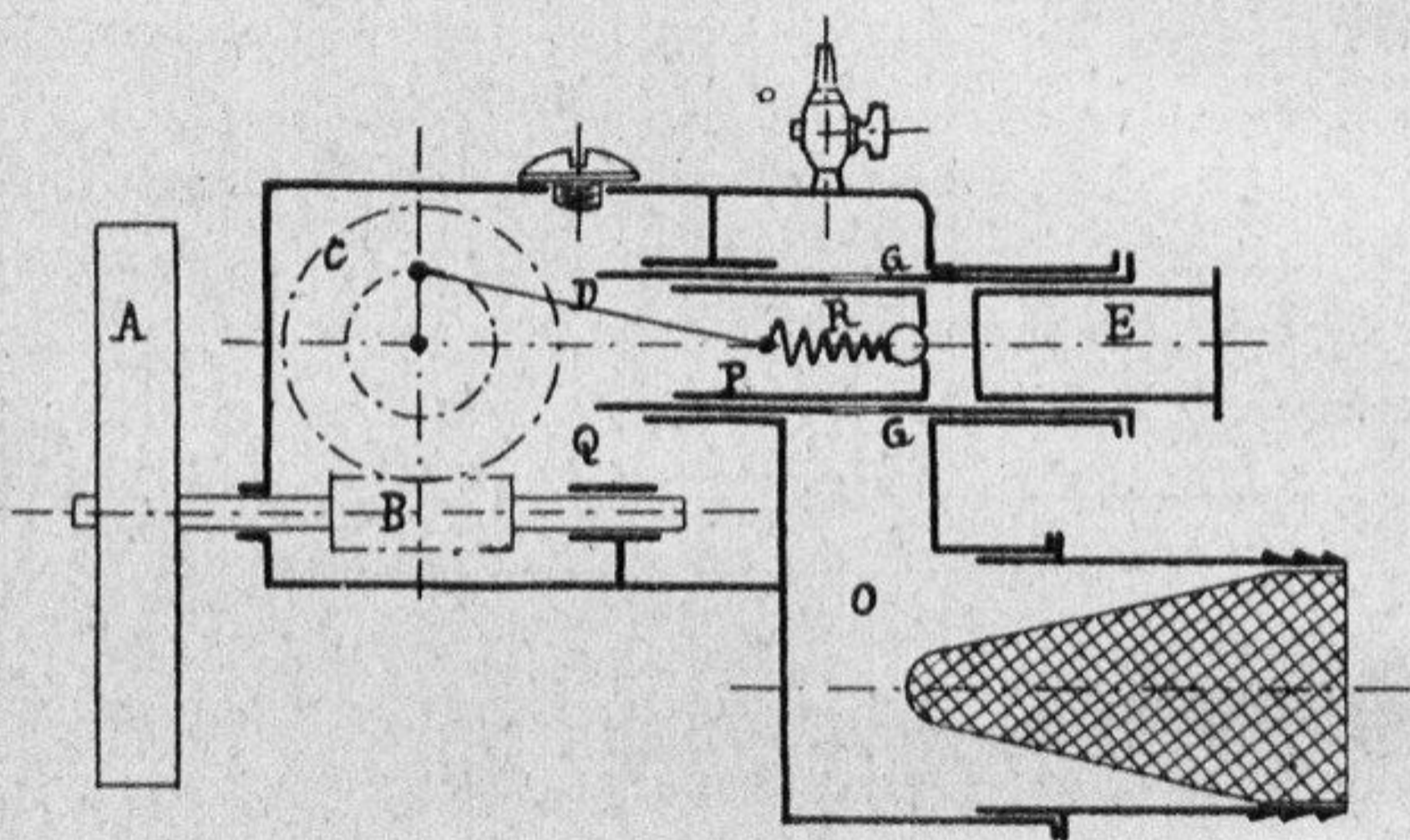


Fig. 60. — Pompe du moteur Clerget 80 HP.

une circonférence, par lesquels a lieu l'aspiration; il se visse dans le carter d'une quantité variable, de façon à faire varier la position des orifices. Le fond du cylindre est obturé par un bouchon fileté E qui limite l'espace mort. En vissant le cylindre, le débit est augmenté; en le dévissant, le débit est diminué.

Le corps de la pompe est à deux compartiments. Celui d'aspiration O possède une tubulure à la partie inférieure, reliée au réservoir d'huile par un tube de fort calibre; au sommet, un robinet permet l'évacuation d'air pour l'amorçage. L'huile est aspirée dans le cylindre, à travers ses orifices, puis refoulée à travers le piston, quand celui-ci a bouché les orifices du

cylindre, dans le compartiment Q, de refoulement, d'où part la canalisation de graissage.

POMPE DU MOTEUR CLERGET 120 HP (fig. 61). — Cette pompe, actionnée par le pignon A engrenant sur l'écrou-

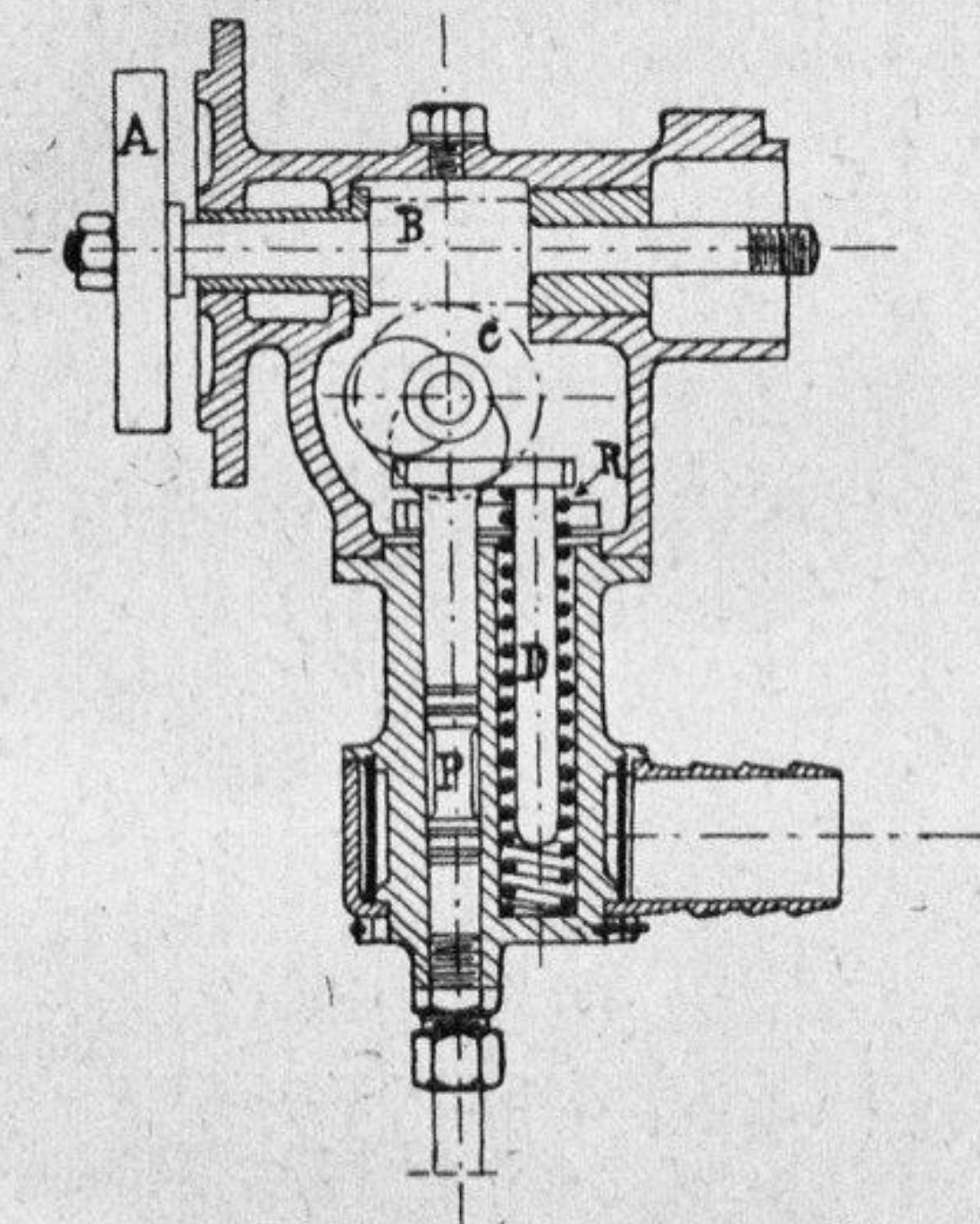


Fig. 61. — Pompe du moteur Clerget 120 HP.

pignon arrière du moteur, est à piston et à débit réglable. La vis sans fin B engrène avec la roue tangente C, donnant le rapport de vitesse de 100 tours du moteur pour sept coups de pompe. L'arbre de la roue C porte deux excentriques ; celui de gauche, en glissant sur un épaulement faisant partie du piston, lui imprime un mouvement de va-et-vient, étant constamment appuyé contre l'excentrique par le ressort R, guidé par la broche D. En remontant, l'épaulement vient buter contre

l'extrémité de la vis moletée V, arrêtée par un écrou (non visible sur la figure).

Suivant la position, la course de remontée du piston varie et donne, de ce fait, un volume variable augmentant avec la course. La distribution s'effectue par le piston distributeur P, actionné comme le piston par le deuxième excentrique.

La course du distributeur est constante. Une vis à la partie supérieure du carter permet l'évacuation d'air, pour l'amorçage.

La constante k a pour valeur :

$$k = 14,3/10 \text{ pour le 80 et le 120 HP.}$$

LE REFROIDISSEMENT PAR L'AIR

Les moteurs à explosion n'ont guère un rendement supérieur à 20 p. 100. La quantité de chaleur non transformée en travail constitue des pertes qui peuvent se répartir ainsi :

30 p. 100 des calories sont entraînées par l'échappement.

10 p. 100 sont absorbées par les résistances passives, en particulier les frottements.

40 p. 100 sont perdues par les parois.

Il a été reconnu qu'un rotatif exigeait pour sa rotation 10 p. 100 de sa puissance, par la résistance qu'il offre à l'air pour son mouvement. Sa puissance disponible se trouve donc diminuée d'autant sur le rendement de 20 p. 100 que l'on pouvait espérer; mais cette diminution n'a pas lieu en pure perte, car le brassage énergétique de l'air par les cylindres constitue un refroidissement automatique.

Il faut donc absorber les 40 p. 100 de chaleur perdue, en les évacuant à l'extérieur à travers les parois. On comprend dès lors l'influence de la nature des parois et leur importance sur le rendement thermique : des parois minces se laissent traverser rapidement par la chaleur et diminuent au temps moteur la quantité de chaleur transformée pour le mouvement; des parois

épaisses, au contraire, ou mauvaises conductrices, forment volant de chaleur; elles ne transmettent pas instantanément la chaleur d'explosion au milieu réfrigérant, mais restituent même une partie de cette chaleur au temps de compression. Le combustible est mieux utilisé, d'où diminution de la consommation et augmentation du rendement.

Si nous considérons un corps chaud exposé à l'air, la perte de chaleur qu'il subit est de deux sortes :

1° Il y a échauffement des molécules d'air en contact direct avec lui. Si cet air a une certaine vitesse, le refroidissement obtenu est grand; s'il est immobile, le refroidissement est nul;

2° Il y a rayonnement de chaleur de tous côtés, qui passe à travers l'air sans l'échauffer sensiblement, mais qui échauffe les corps solides atteints par ses rayons.

De ces deux modes de dispersion de chaleur, on n'utilise que l'échauffement direct des molécules d'air, le rayonnement se contrariant d'une paroi à l'autre voisine.

Dans l'intérieur du corps, la chaleur se déplace comme un courant d'eau qui s'écoulerait de la source chaude de température t , à la source froide de température t' . Le refroidissement sera d'autant plus efficace que cet écoulement sera rapide, c'est-à-dire que :

1° La surface s sur laquelle il s'exerce est plus grande;

2° L'épaisseur des parois e est plus faible;

3° La différence $t - t'$ des températures est plus grande;

4° Le pouvoir émissif k de la surface est grand.

La chaleur Q , transmise à travers une paroi, est donc de la forme :

$$Q = k.S. \frac{t - t'}{e}$$

avec $k = 25$ à 30 pour l'acier.

De toutes ces considérations, il résulte qu'on devra augmenter la surface de refroidissement en garnissant les cylindres d'ailettes, sur toute leur surface extérieure. On pourrait étudier mathématiquement le profil

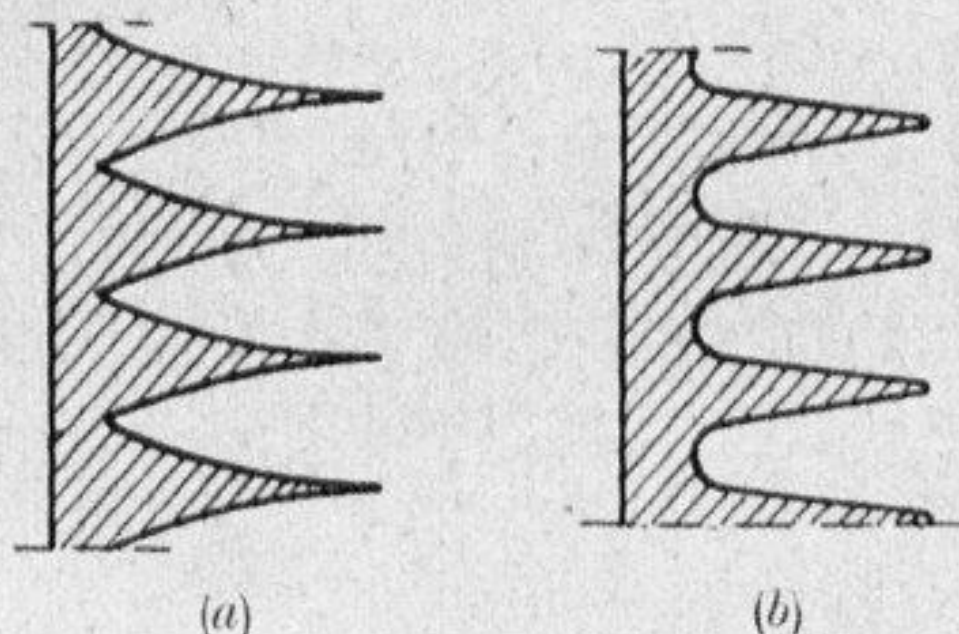


Fig. 62. — Ailettes de refroidissement : (a) profil théorique ; (b) profil pratique.

à leur donner, d'après les données précédentes ; cette forme théorique, qui donne des arcs de parabole et des angles vifs, est approchée dans la pratique comme l'indique la figure 62. La surface de refroidissement se trouve ainsi augmentée de cinq fois environ, ce qui donne un refroidissement suffisant, et de deux façons différentes, pour un rotatif monté sur appareil :

- 1° Par rotation des cylindres ;
- 2° Par l'avancement du moteur dans l'air.

Causes et effets d'un mauvais refroidissement.

Pour que le refroidissement ait lieu d'une façon convenable, il faut que les 40 p. 100 environ de calories

perdues par les parois soient transmises à l'air ambiant et que cet air soit sans cesse renouvelé. Un refroidissement insuffisant peut provenir de diverses causes :

1° *D'un mauvais réglage du moteur*, par une phase d'échappement trop réduite, l'évacuation des gaz se faisant d'une façon incomplète ; ou par du retard à l'allumage ;

2° *D'une mauvaise carburation* par excès d'essence. Le mélange fuse au lieu d'exploser et dégage une grande quantité de chaleur pendant toute la phase de détente. De plus, il se produit une grande quantité de résidus de combustion qui se déposent dans la chambre d'explosion, les fonds des pistons et les soupapes ; ces dépôts sont portés à l'incandescence pendant la plus grande partie du cycle, sinon constamment, auquel cas l'auto-allumage se produit ;

3° *D'un mauvais capotage du moteur*. Il y aurait intérêt à enfermer complètement le moteur, sur un aéroplane, afin de mieux le fuseler. Mais le rotatif ne peut se prêter à cette pratique pour la double raison qu'il échappe à l'air libre et que l'évacuation des gaz, loin du moteur, doit être immédiate ; et que l'air ambiant doit être constamment renouvelé.

Cependant, pour éviter les projections d'huile et donner à l'appareil sur lequel il est monté une meilleure forme à la pénétration, on établit un capotage qui doit satisfaire aux conditions précitées et assurer un refroidissement suffisant du moteur.

4° *D'une insuffisance de graissage*.

Un moteur fonctionne normalement dans les limites assez restreintes de température. S'il est trop froid des ratés de carburation se produisent, s'il est trop chaud il advient :

1° *Un mauvais remplissage de la cylindrée.* — L'échauffement des cylindres se transmet au carter, par suite aux gaz frais qu'il renferme. Ceux-ci diminuent de densité, en se dilatant, et le remplissage de la cylindrée a lieu dans de mauvaises conditions, d'où perte de puissance et diminution du rendement.

2° *Un dérèglement du moteur.* — Les dilatations des soupapes et de tous leurs organes de commande font varier le réglage dans d'assez fortes proportions pour que le rendement du moteur s'en ressente.

3° *De l'auto-allumage.* — Les dépôts charbonneux de la chambre d'explosion ainsi que les pointes trop aiguës des bougies peuvent rester à l'incandescence et provoquer des explosions prématurées, avant la fin de la compression, par suite donner une marche irrégulière au moteur.

4° *Une fatigue exagérée des organes.* — Les divers organes étant soumis à des températures trop élevées, le métal supporte mal les efforts imposés pendant le fonctionnement du moteur. Les pièces se déforment, se voilent, se matent ou s'ovalisent et remplissent mal leur fonction. Le graissage devient insuffisant et le grippage à bref délai entraîne forcément la rupture des pièces, paralysant la marche du moteur.

CHAPITRE VII

ÉTUDE TECHNOLOGIQUE

Tous les rotatifs actuels présentent une grande analogie dans leur constitution. Ils comprennent principalement :

Un *carter*, en deux parties assemblées, tournant sur un *vilebrequin*. Le carter est fermé d'un côté par la *flasque de distribution*, de l'autre par la *flasque de butée*. Sur le maneton est articulé l'*embiellage* ou ensemble des bielles qui guident chacune un *piston*, dans un *cylindre*, par l'intermédiaire d'*obturateurs* ou segments qui empêchent le passage des gaz de la chambre de compression au carter. Une *distribution* permet la réalisation du cycle, par la commande appropriée des *soupapes*. L'énergie disponible est prise sur le *nez* du moteur.

Nous allons passer en revue les organes offrant quelques particularités.

Les matériaux entrant dans la constitution d'un tel moteur doivent être de première qualité et répondre aux conditions de résistance imposées pendant le fonctionnement, afin de prévenir tout danger de rupture en marche.

L'usinage devra être précis et soigné, les jeux rigoureusement observés. Le montage exigera des soins tout particuliers de précision et de propreté et toute pièce

présentant la plus petite déféctuosité sera proscrite. En un mot, le moteur ne souffrira aucune médiocrité et rien ne devra être négligé qui porte préjudice à la parfaite réalisation en faveur du prix de revient.

Le carter.

Le carter constitue une masse tournant sur le vilebrequin par l'intermédiaire de roulements à billes. Il est soumis à des efforts puissants dus à la force centrifuge de sa masse, auxquels s'ajoutent ceux développés par la rotation de tous les organes qui s'y rattachent. Il doit être parfaitement équilibré pour ne pas donner lieu à des vibrations : s'il est travaillé sur toutes ses parties, l'équilibrage pourra être parfait ; mais souvent, pour diminuer le travail d'usinage, des parties restent brutes ; il est alors nécessaire de vérifier son équilibrage et de le rendre parfait soit en enlevant de la matière, soit en vissant à l'intérieur des masses d'équilibrage.

Le carter peut être d'une seule pièce tirée d'un bloc d'acier matricé ou en deux pièces, dans le but de faciliter le montage des cylindres. Il est alors nécessaire que les deux coquilles assemblées par boulons, après dressage des faces en contact, soient très exactement repérées et qu'à un remontage toute erreur soit impossible : ce résultat est obtenu très simplement par des goujons fixés sur la face d'assemblage d'une des coquilles, rentrant sans jeu dans des trous en regard de l'autre coquille.

Un guidage assez long doit être réservé pour l'emmanchement des cylindres. Les flasques boulonnées des deux côtés (distribution et butée) seront encastrées dans un logement circulaire concentrique ménagé sur

les faces du carter, pour un centrage parfait. Les goujons de fixation des flasques se vissant dans des épaisseurs relativement faibles seront vissés à force, dans les trous filetés du carter, et arrêtés par rivetage ou coups de pointeau.

Le vilebrequin.

Le vilebrequin constitue l'axe de rotation du moteur. Son rôle est triple :

1° *Il sert de pivot.* — Toute la masse tourne en effet autour de son axe. La fixation du moteur, généralement

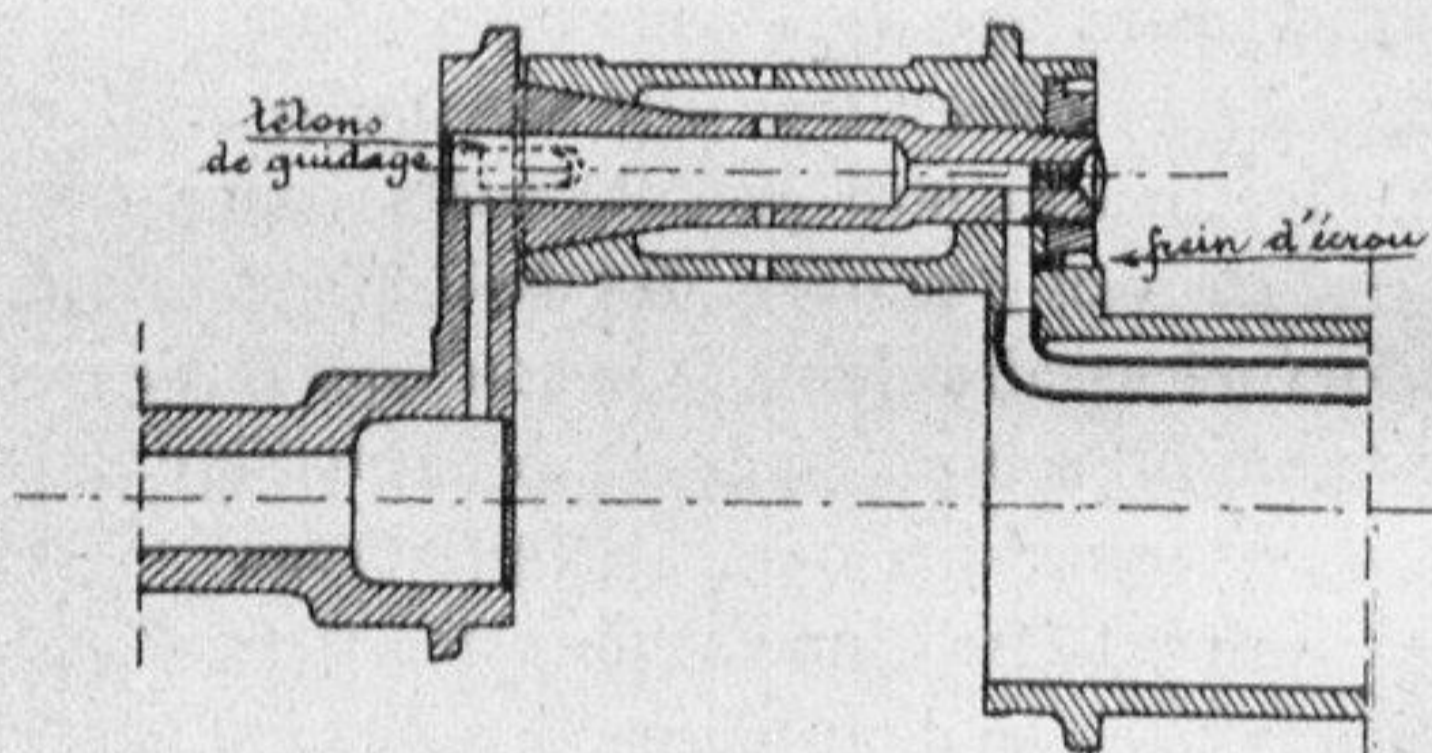


Fig. 63. — Assemblage par cône circulaire.

en porte à faux, se fait en deux points de sa longueur : l'un au moyeu de volant, claveté sur lui, l'autre à son extrémité, à l'aide d'une collerette rattachée aux longérons par des tubes rivés, constituant la *patte d'araignée*.

2° *Il sert de tuyauterie d'admission.* — Le carburateur est fixé en bout par un écrou à deux pas contraires et les gaz le traversent pour déboucher dans le carter. Il est donc très évidé et constitue un tube de fort diamètre très résistant.

3° *Il sert de tuyauterie d'huile.* — Les tubes collec-

teurs recevant l'huile de la pompe sont logés dans son alésage et aboutissent à des trous perforés dans ses bras, son maneton et dans le contre-coude. Ces trous consti-

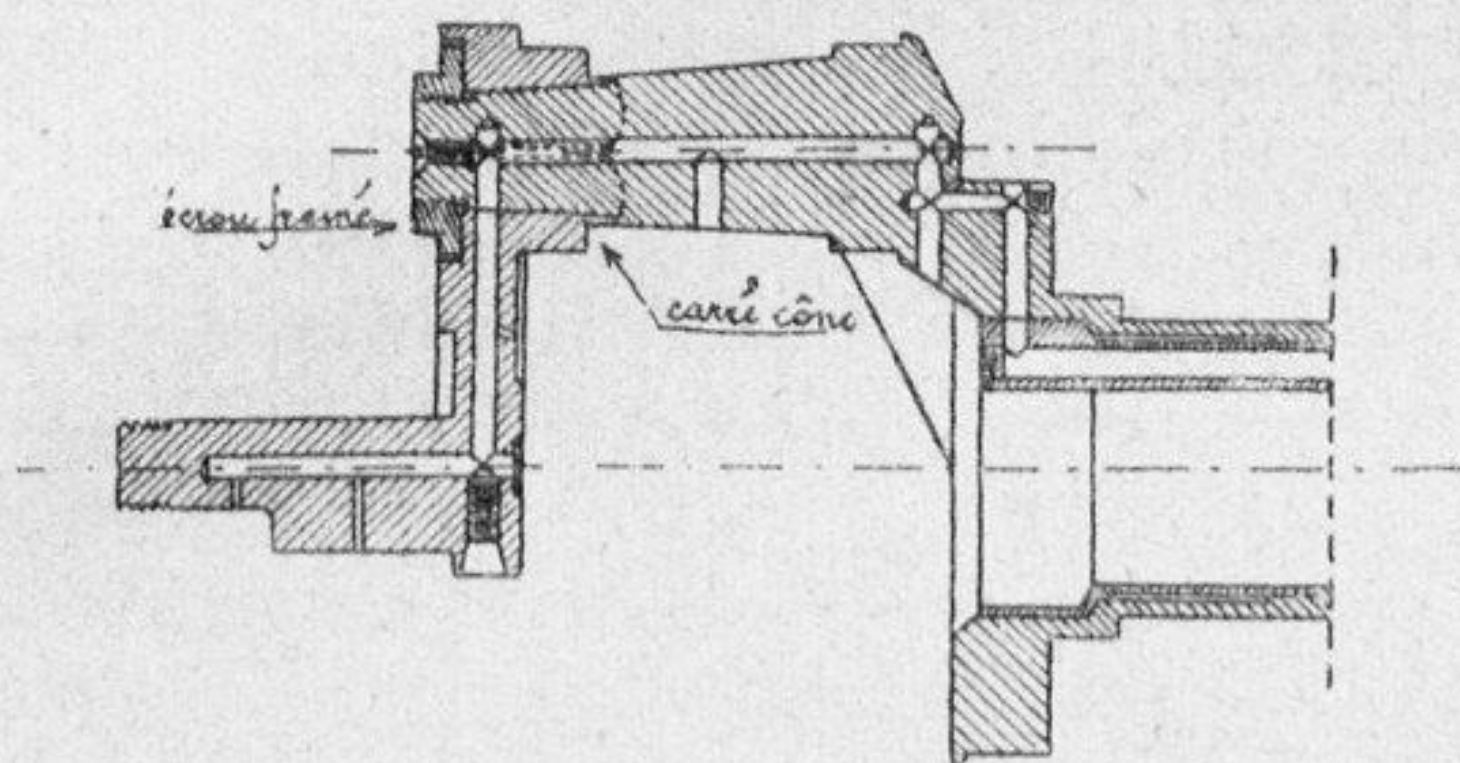


Fig. 64. — Assemblage par cône carré.

tuent une canalisation continue qui effectue la distribution d'huile par des orifices débouchant à la périphérie.

Afin de pouvoir monter l'embiellage, le vilebrequin est en deux parties et l'assemblage a lieu au maneton

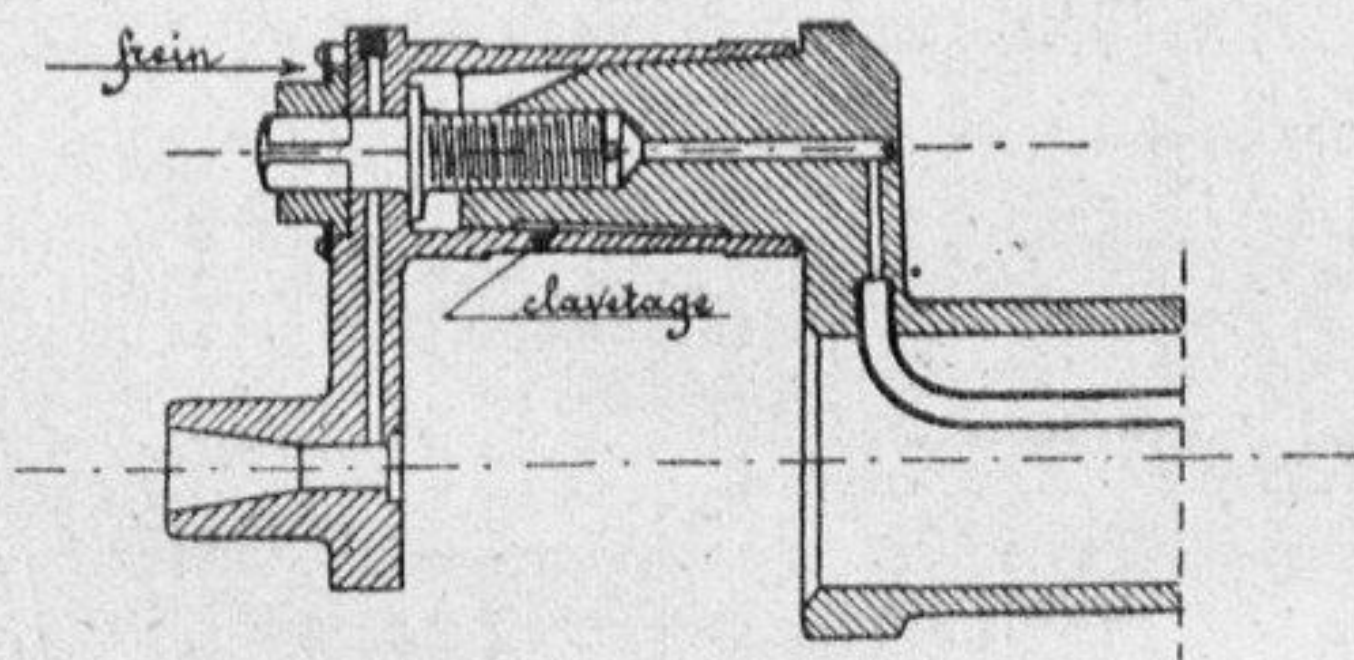


Fig. 65. — Assemblage par cône circulaire avec vis de déblocage.

par partie conique, à base circulaire ou carrée, serrée par un écrou comme l'indiquent les figures 63, 64, 65.

Il est inutile d'insister sur l'importance dans la précision de cet assemblage qui doit donner la coïncidence parfaite des axes avant et arrière du moteur.



Butée à billes.

La butée à billes a pour but de vaincre l'effort déve-

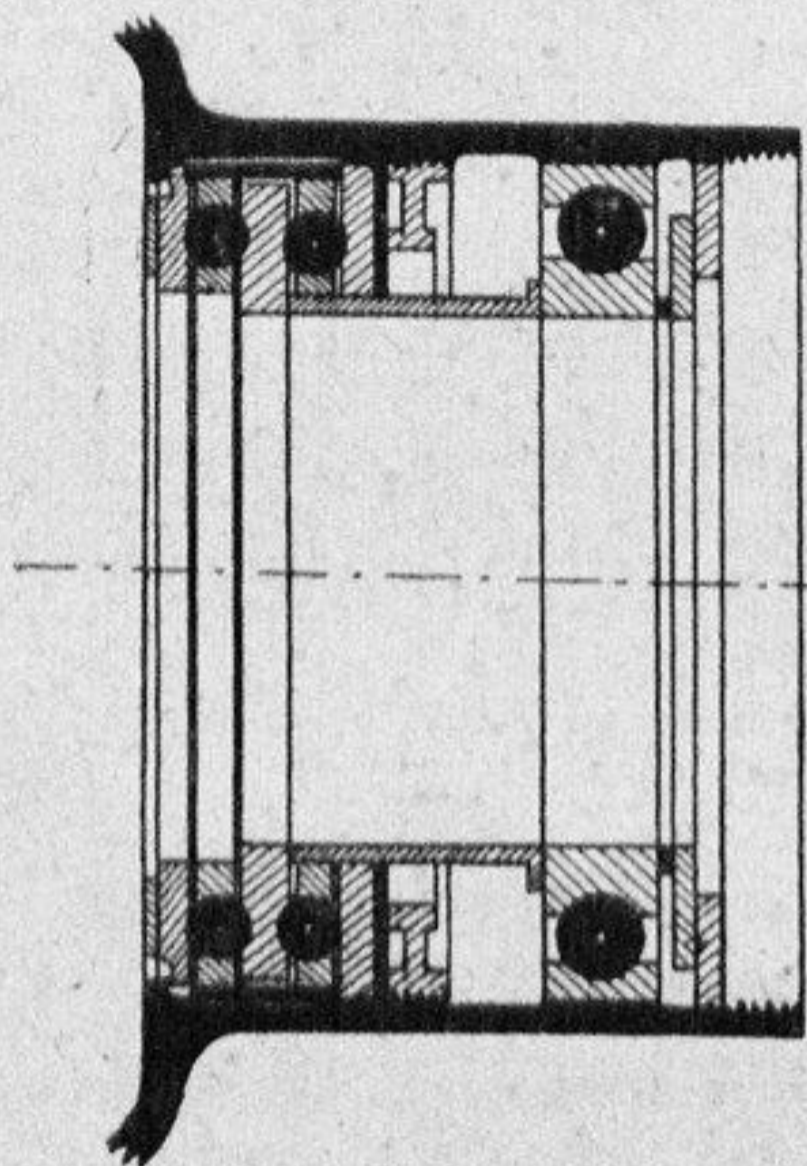


Fig. 66. — Butée à billes.

loppé par la traction ou la poussée de l'hélice, qui tend à tirer le moteur vers l'avant ou à le pousser vers l'arrière, suivant que l'hélice est tractive ou propulsive.

La butée doit donc être double. Elle est logée dans la flasque de butée et comprend deux cages à billes qui roulent entre des rondelles en acier por-

tant les chemins de roulement. La figure 66 donne un exemple de butée à billes.

L'embiellage.

C'est le problème de l'articulation de plusieurs têtes de bielles sur un même maneton. Un embiellage convenablement établi doit satisfaire aux conditions suivantes :

1° Assurer la liaison complète de la bielle au maneton de façon que l'entraînement soit certain.

2° Offrir une surface de contact suffisante entre les deux organes de façon que la pression unitaire ne soit pas élevée, au point de provoquer l'expulsion de l'huile et d'empêcher le graissage.

3° Donner une liberté complète de rotation aux bielles sans qu'elles se gênent mutuellement.

4° L'axe d'une bielle doit constamment passer par l'axe du maneton, afin de ne pas créer d'effort anormal sur les bras du vilebrequin.

Étudions les dispositions adoptées.

EMBIELLAGE GNOME. — L'embiellage Gnome comprend une bielle maîtresse (fig. 67) articulée sur le maneton

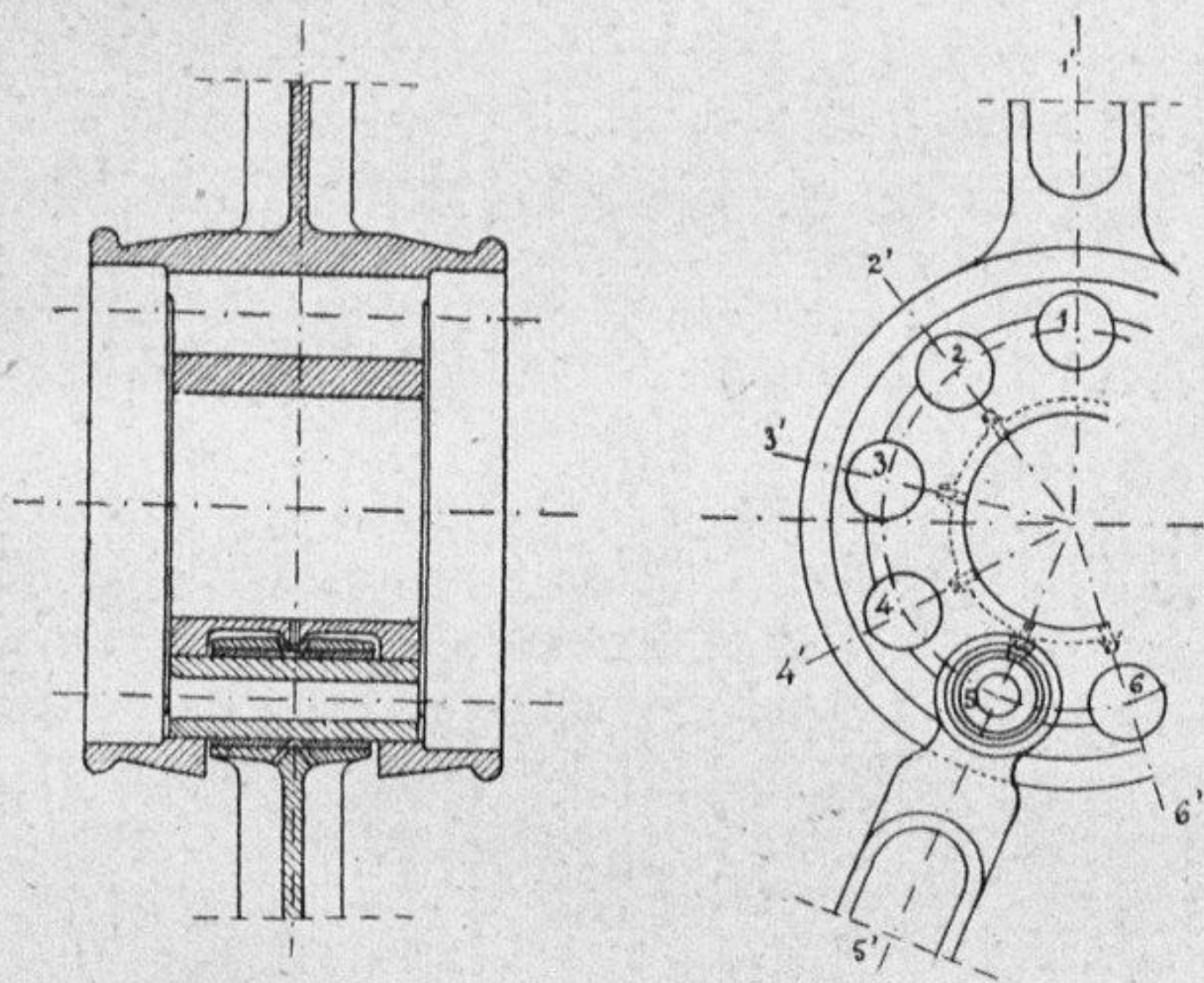


Fig. 67. — Embiellage Gnome.

du vilebrequin par deux roulements à billes. Les six biellettes 22', 33'..., 77' sont articulées sur des axes fixés entre les joues de la bielle-mère, ce qui leur permet une oscillation suffisante. Elles sont symétriques, presque semblables aux deux extrémités, l'extrémité du piston étant un peu plus large; elles s'assemblent par des axes creux ergotés.

Considérons un tel système d'embiellage à bielle maîtresse (fig. 68) O étant l'axe du moteur, A l'axe du maneton, les biellettes étant articulées sur la circonférence $A1$. Supposons le cylindre I, portant la bielle-

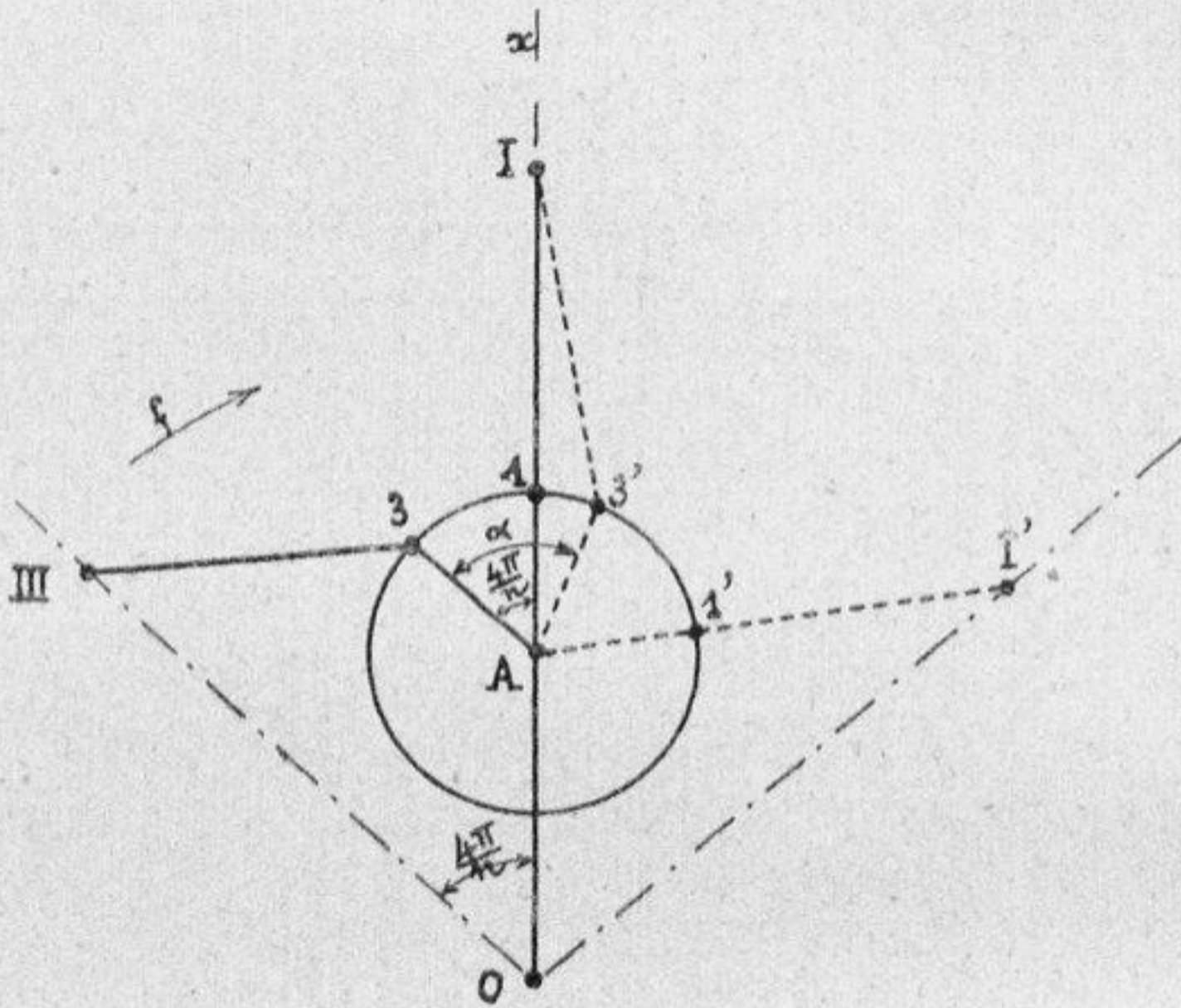


Fig. 68. — Épure montrant les variations des déplacements angulaires des pieds de bielle.

mère, à l'allumage, sur l'axe Ox ; celui qui allumera ensuite sera le cylindre III (le moteur tournant dans le sens de la flèche f) et I sera venu en I' tel que :

$$\widehat{IOI'} = \widehat{IIIIOI} = \frac{4\pi}{n}$$

I sera venu en I' sur la circonférence $A1$, 3 en $3'$ tel que :

$$\widehat{I'A3'} = \widehat{IA3} = \frac{4\pi}{n}$$

et $\widehat{3A3'} = \alpha$ avec $\alpha > \frac{4\pi}{n}$.

La position de la biellette, au moment de l'allumage

du cylindre III, sera $13'$; sa tête sera donc décalée dans le sens du mouvement.

Si cet embiellage est simple, il ne réalise pas la quatrième condition signalée plus haut : les axes des bielles ne passent pas par l'axe du maneton d'où les inconvénients suivants :

1° Efforts anormaux sur le vilebrequin, se traduisant par un couple dans le sens de la flèche f (fig. 69).

2° Inégalité des courses des pistons ainsi qu'on peut se rendre compte par une simple épure.

3° Inégalité des durées des mêmes phases du cycle pour les divers cylindres.

Donc, avec un tel embiellage, le moteur Gnome ne tourne théoriquement pas rond. Mais, vu la grande masse tournante, les irrégularités de marche, périodiques tous les deux tours, sont insignifiantes et pratiquement nulles.

On a remédié en partie à ces inconvénients en choisissant les points d'articulation des bielles, sur la bielle-mère, de façon à obtenir une course sensiblement égale pour tous les cylindres, sans tenir compte de l'égalité des écartements $2'3'$, $3'4'$,, $7'1'$.

EMBIELLAGE « LE RHÔNE ». — L'embielage des moteurs « Le Rhône » se compose de deux coquilles P et P' (fig. 70) tournant sur le maneton par deux roulements à billes R, R'. Elles sont serrées l'une contre l'autre et rendues solidaires par des vis V qui traversent et centrent en même temps la tête de la bielle-mère qui

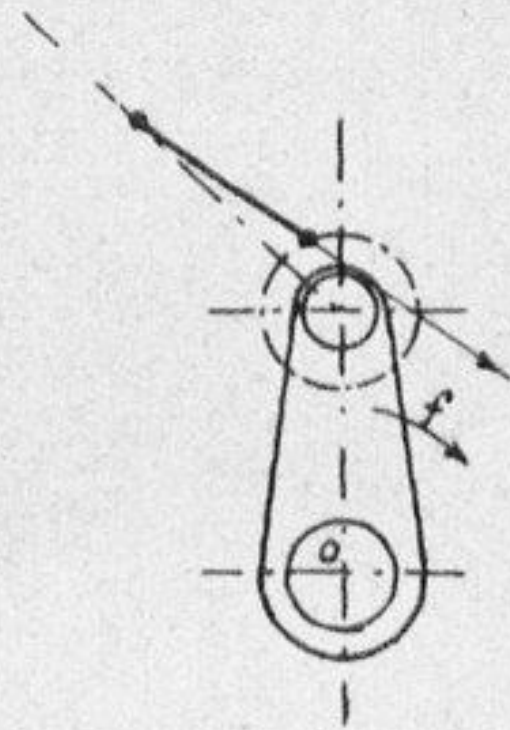


Fig. 69. — Efforts anormaux dans l'embielage à bielle-mère.

oscille avec les coquilles. P et P' portent chacune trois gorges circulaires, gainées de bronze, dans lesquelles

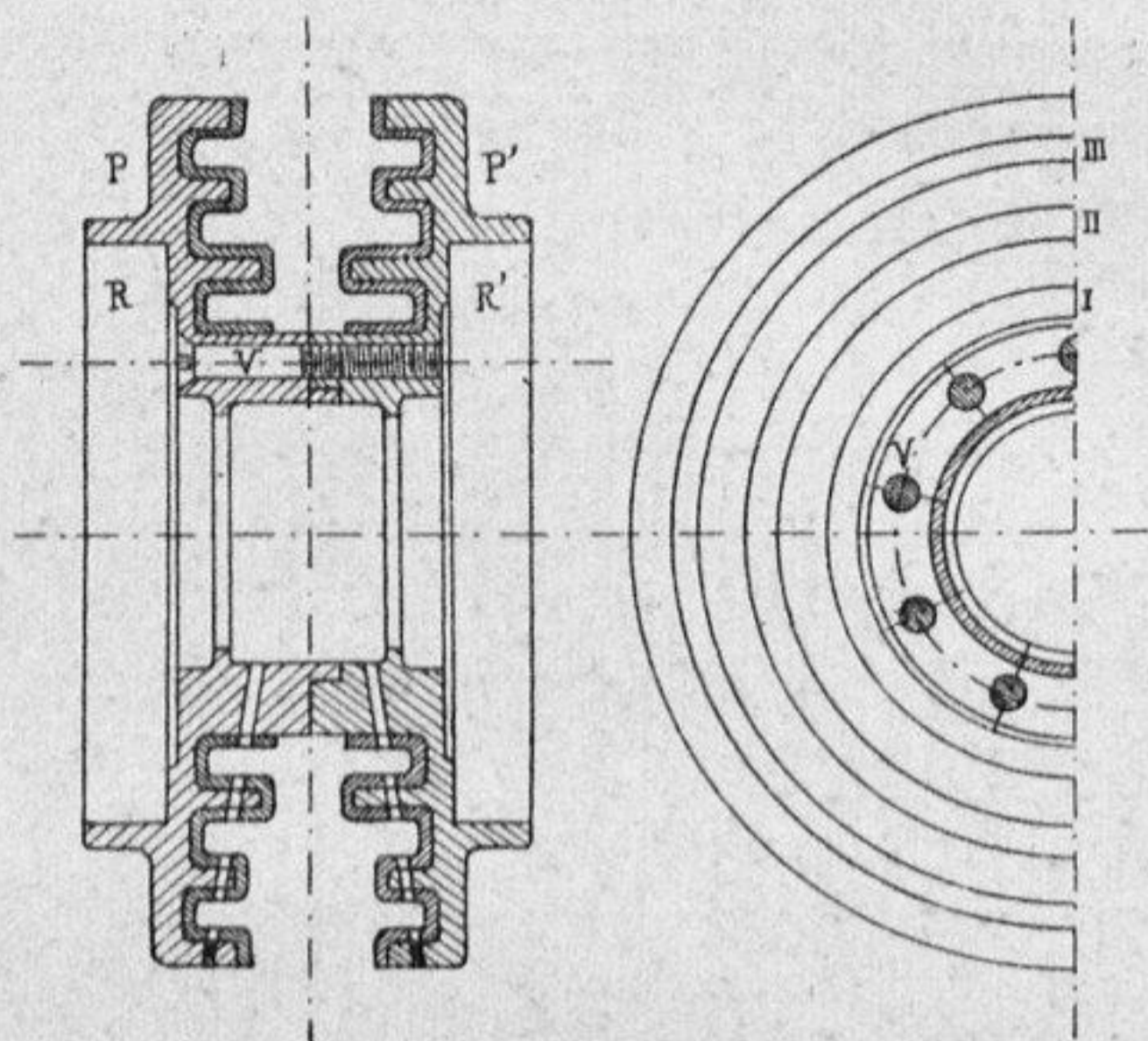


Fig. 70. — Coquilles assemblées de l'embellage « Le Rhône ».

coulissent les têtes des bielles. A chaque gorge correspond un type de bielle dont la tête est constituée par un talon s'ajustant dans la gorge correspondante,

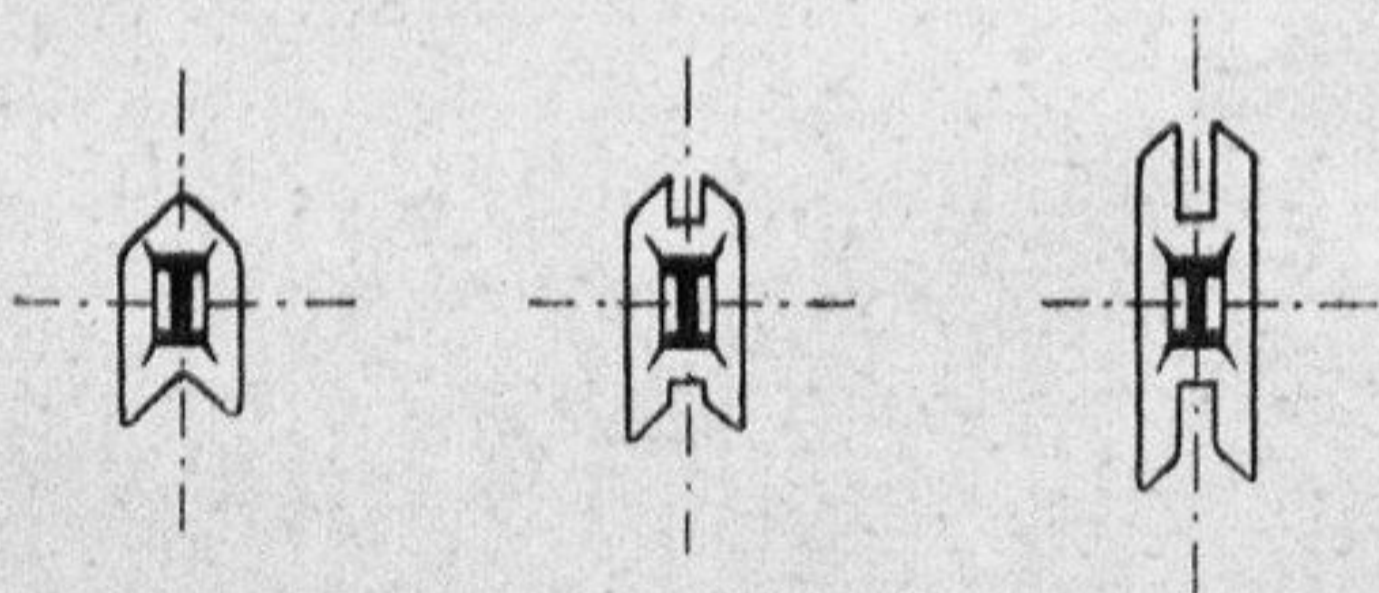


Fig. 71. — Talons de bielles du moteur « Le Rhône ».

et dont les extrémités sont taillées et échancrées comme le montre la figure 71, de façon à intéresser un plus grand arc de circonférence. La gorge I (fig. 70) guide deux bielles ; les gorges II et III en guident chacune

trois identiques et se partagent le pourtour avec un espace suffisant, entre les extrémités conjuguées des talons, pour permettre la libre oscillation.

Cet embiellage a été modifié par la suppression de la bielle-mère. Chaque gorge reçoit alors trois bielles identiques à petits talons, à moyens talons et à grands talons (fig. 71).

Ce système d'embiellage remplit toutes les conditions requises mais est d'une construction difficile et précise.

Le piston.

Le piston d'un moteur à explosion a un rôle triple :

1° Il constitue la paroi mobile de la chambre où évoluent les gaz.

2° Il reçoit directement la pression de ces gaz et transmet les efforts à la bielle.

3° Il sert de guidage au pied de bielle.

Tout piston devra être léger, sans nuire toutefois à sa robustesse, afin de diminuer les effets d'inertie et de force centrifuge qu'il fait naître par son mouvement. Dans ce but, l'aluminium et l'acier embouti ont fait l'objet de recherches, mais pour le rotatif toutefois l'aluminium seul a été employé dans quelques cas. Les pistons sont généralement en fonte spéciale, très douce et homogène, qui autorise des épaisseurs assez faibles et donne un bon frottement.

Le diamètre du piston ne peut être, comme dans tout moteur, le même que celui du cylindre, à cause des différences de dilatations; l'emploi des segments s'impose donc.

La longueur du piston est subordonnée à trois conditions. Elle doit être suffisante :

1° Pour que la pression unitaire entre les surfaces frottantes ne soit pas élevée au point de chasser l'huile de graissage. On adoptera comme valeur courante 25 grammes par millimètre carré.

2° Pour que le guidage dans le cylindre soit assuré, sans avoir à craindre un coincement du piston, ce qui pourrait entraîner sa rupture.

3° Pour permettre de loger sur sa longueur le nombre de segments nécessaires à une parfaite obturation.

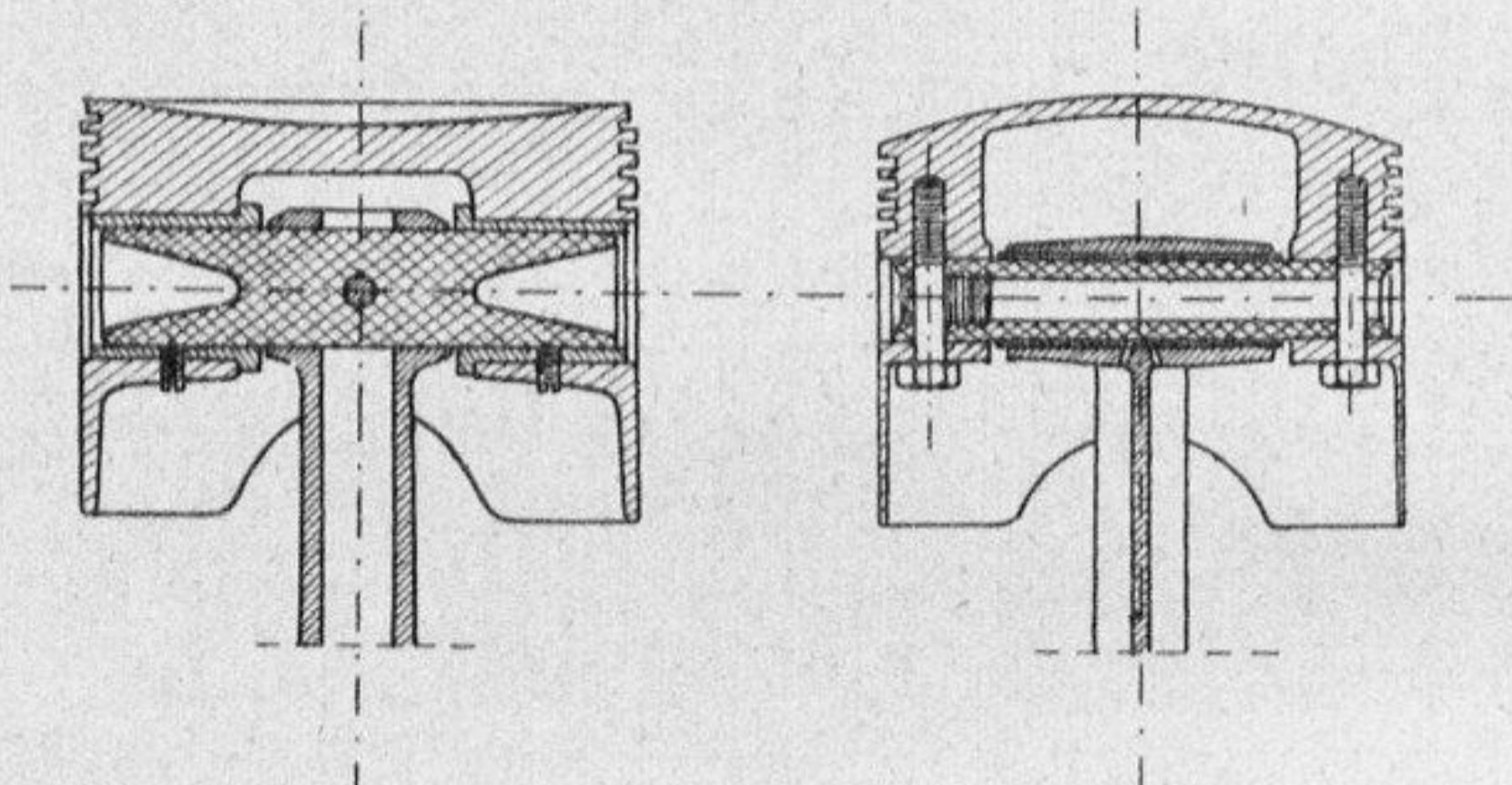


Fig. 72.

Fig. 73.

Montages d'axes de pistons.

A leur passage vers le point mort bas, les bielles font entre elles l'angle minimum et les pistons sont au bas des cylindres, desquels ils sortent sur une partie de leur longueur. Les cylindres étant très rapprochés, les pistons viennent se rencontrer et il est alors nécessaire de les échancreur, afin qu'ils ne se gênent pas mutuellement dans leur mouvement. Cette échancreur aura son axe dans le plan de rotation de l'axe des bielles et on aura le choix pour le côté. On aura intérêt à la placer du côté opposé à la rotation, de façon à laisser la plus grande surface possible de frottement au moment

où se produisent les plus grandes réactions latérales.

Les figures 72 et 73 indiquent des exemples de montage des axes des pistons. Le moteur Gnome présente sur ce point une particularité, à cause de sa soupape

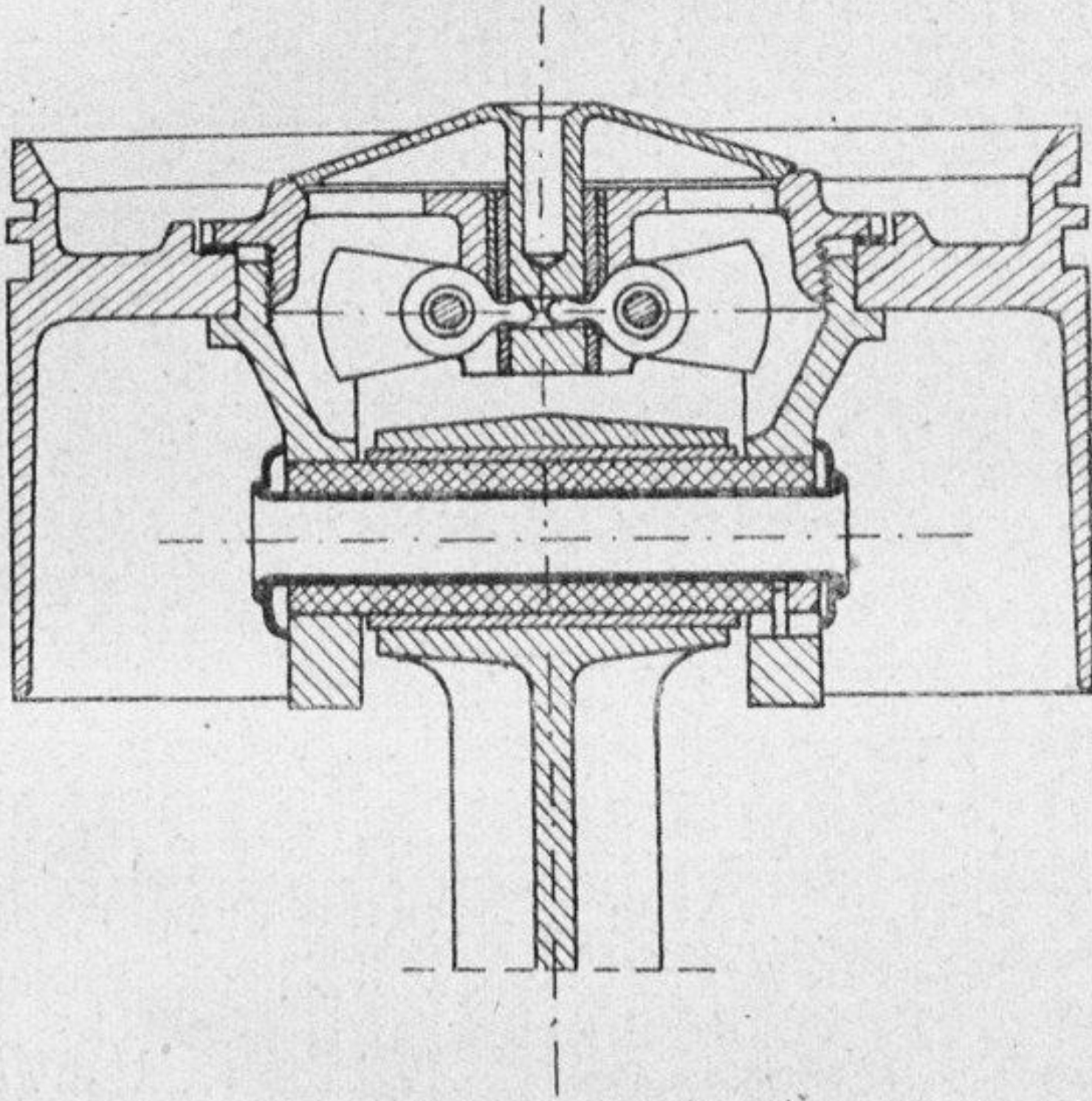


Fig. 74. — Disposition Gnome avec soupape automatique sur le fond du piston.

automatique. Le piston est fixé entre la soupape et la chape (fig. 74) : il porte sur le fond un trou circulaire lisse dans lequel vient s'engager la chape où s'articule la bielle ; un petit ergot fixé dans cette chape détermine sa position par rapport au piston, de telle sorte que l'axe de l'échancrure soit situé dans le plan d'oscillation de la bielle.

L'obturation.

Le problème de l'obturation, ou l'opposition au passage des gaz de la chambre d'explosion au carter, présente pour le rotatif un caractère particulier.

Tout d'abord, il n'a, dans les fixes, d'autre conséquence qu'un abaissement de la pression, très préjudiciable aux périodes de compression et de détente. Dans le rotatif, en outre, les gaz de la chambre de compression viennent se mélanger aux gaz frais du carter et en diminuer la richesse, quand la fuite a lieu pendant la course de détente.

Pour obtenir des pièces légères et résistantes, l'emploi des aciers à haute résistance s'est imposé dans la réalisation des cylindres jusqu'alors en fonte. Les cylindres des rotatifs sont en acier avec une épaisseur de quelques millimètres aux parois, renforcée par les ailettes de refroidissement, jouant le rôle de frettes. L'emploi courant des segments en fonte présente alors quelques difficultés :

1° Le frottement fonte sur acier n'est pas merveilleux, ne vaut pas celui de fonte sur fonte par exemple. Le segment s'use rapidement et risque de provoquer des grippages.

2° Vu les faibles épaisseurs du piston et aussi leur longueur restreinte, imposée pour éviter leur pénétration vers le bas du cylindre, on est conduit à employer des segments de dimensions réduites, en épaisseur et largeur, surtout si on veut en placer suffisamment pour obvier aux fuites par les coupures. De tels segments en fonte présentent peu de bande et l'obturation est compromise.

Les recherches ont été longues et la mise au point des dispositions adoptées a retardé l'apparition de certains rotatifs.

DISPOSITION GNOME. — Un obturateur A, en laiton, de section en L (fig. 75) est logé sur la partie haute du piston et maintenu, par une de ses ailes, dans une encoche. La portance sur la paroi du cylindre est obtenue :

1° Par l'action des gaz, dont la pression a pour effet d'appuyer l'obturateur sur la paroi, celui-ci agissant comme un cuir embouti.

2° Par l'action d'un segment en fonte B de dimensions très réduites.

Un deuxième segment en fonte C complète l'obturation et augmente le guidage du piston.

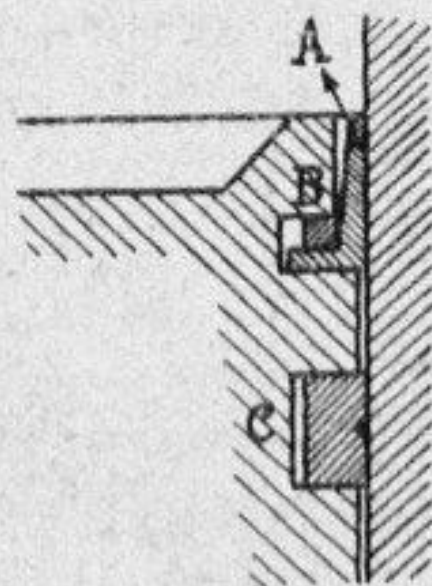


Fig. 75. — Obturation Gnome.

L'inconvénient de cette disposition réside dans la fragilité de l'obturateur. S'il n'est pas parfaitement rodé, la pression des gaz, au lieu de l'appliquer contre le cylindre, tend à le resserrer et à aggraver la fuite. Le laiton s'use rapidement surtout aux hautes températures auxquelles il est porté à l'explosion. Il finit par brûler en certains points, rendus plus faibles par usure, et une fuite importante se produit le long du cylindre provoquant un « coup de chalumeau » qui grippe instantanément et entraîne l'arrêt du moteur.

DISPOSITION CLERGET. — Elle comprend un obturateur semblable à celui du Gnome, mais doublé d'un second, dans le but de diminuer la fuite par la cou-

pure (fig. 76). L'obturateur intérieur B s'appuie sur l'obturateur extérieur A, par la pression des gaz et par un petit segment en fonte C. B est percé de trous sur son pourtour pour que l'action des gaz s'exerce aussi directement sur A.

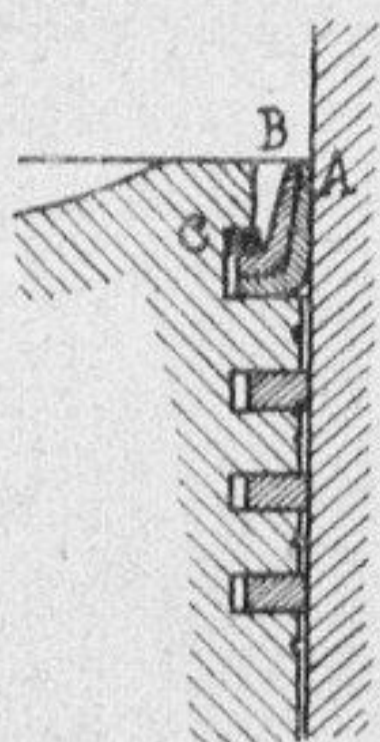


Fig. 76. — Obturation Clerget.

Trois petits segments en fonte sont logés plus bas dans des gorges du piston.

Des essais ont été faits avec un seul obturateur en alliage argent-laiton et on s'est arrêté à l'obturateur double en cet alliage.

DISPOSITION LE RHÔNE (fig. 77). — Dans le cylindre est emmanchée à la presse une chemise en fonte sur laquelle frottent quatre segments en acier spécial, très résistant et élastique, dont la constitution est analogue à celle des aciers rapides. La bande est très forte et cette disposition donne de bons résultats. Toutefois, la chemise en fonte s'use et la moindre parcelle de matière dure qui est entraînée par les segments raye le cylindre.

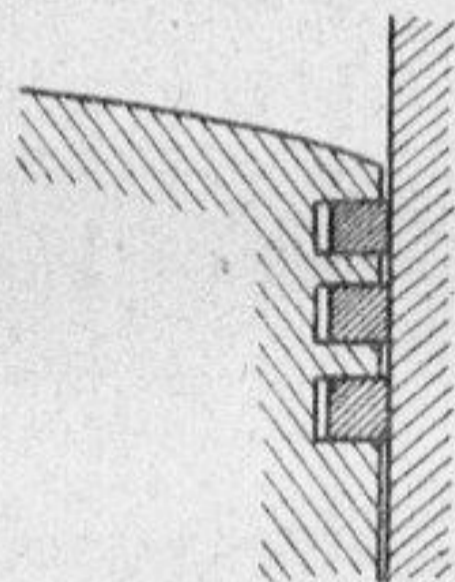


Fig. 77. — Obturation « Le Rhône ».

Le cylindre.

Les cylindres sont en acier pris dans la masse. Pour l'équilibrage parfait du moteur, l'usinage complet des cylindres s'impose afin de les obtenir tous absolument identiques; car il ne suffit pas qu'ils aient le même

poids, mais que la répartition de la matière soit identique pour tous. De cet usinage total, il résulte que la forme de la chambre d'explosion, dont l'importance est considérable, sera simple.

Les ailettes de refroidissement, prises dans la masse, sont obtenues au tour, sur la surface cylindrique, et constituent de véritables nervures qui augmentent con-

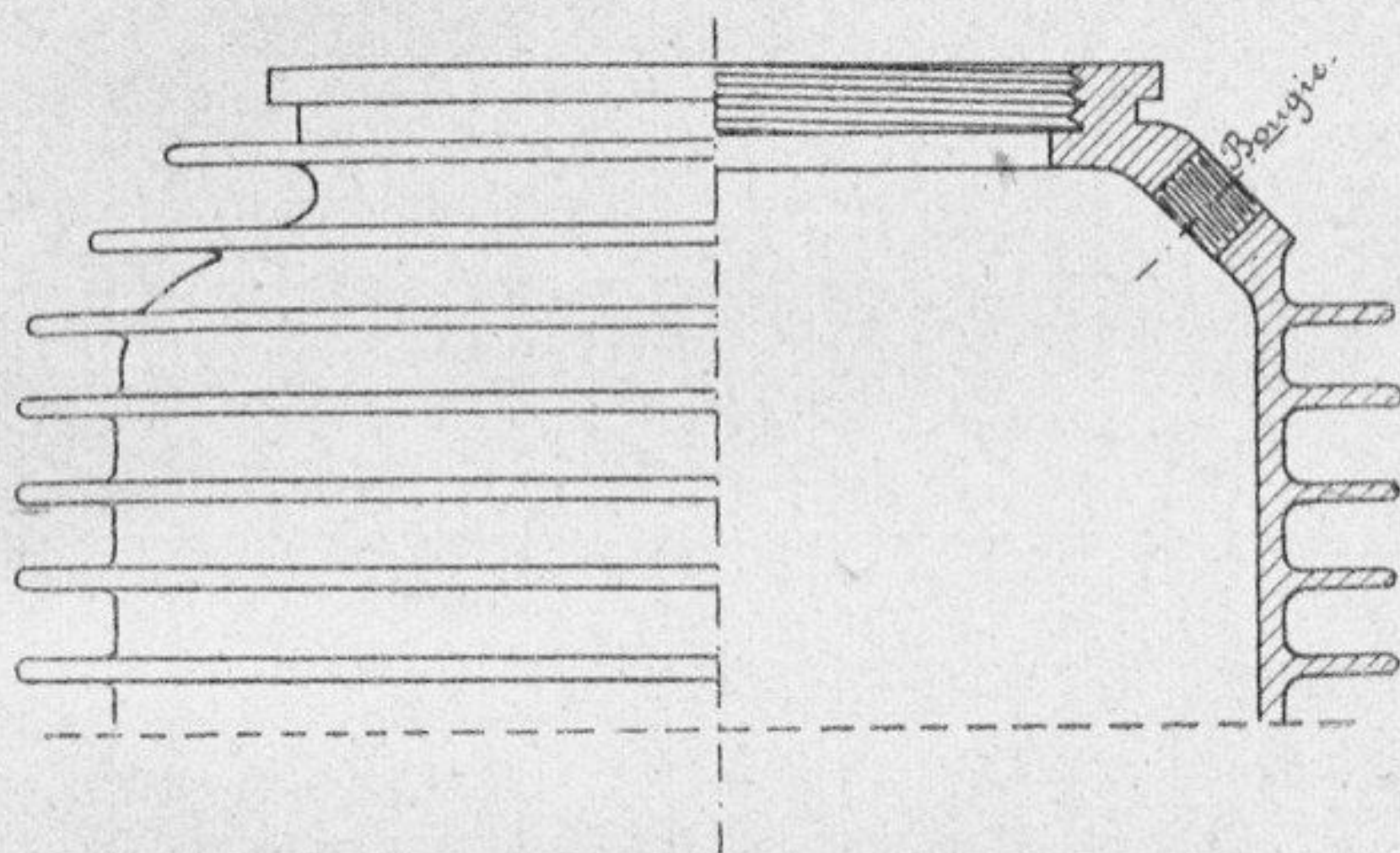


Fig. 78. — Partie supérieure de cylindre Gnome.

sidérablement la résistance de la paroi et empêchent l'ovalisation du cylindre.

Les sièges des soupapes sont pris directement sur le fond du cylindre ou rapportés par vissage : ces derniers ont l'avantage de permettre le démontage de la soupape sans avoir à démonter le cylindre. Il faut que l'axe des soupapes soit concourant à l'axe du moteur et situé dans le plan de rotation de l'axe des cylindres, ou dans un plan parallèle. De cette façon, la force centrifuge les appuie naturellement sur leur siège, sans effort oblique.

Pour le vissage des bougies, on est dans l'obligation de ménager une épaisseur ; ce renfort est pris dans la

masse, ce qui augmente le travail d'usinage, ou est rapporté à l'autogène : ce dernier procédé a l'inconvénient de chauffer très fortement le cylindre en un point, ce qui peut entraîner sa déformation et crée un travail

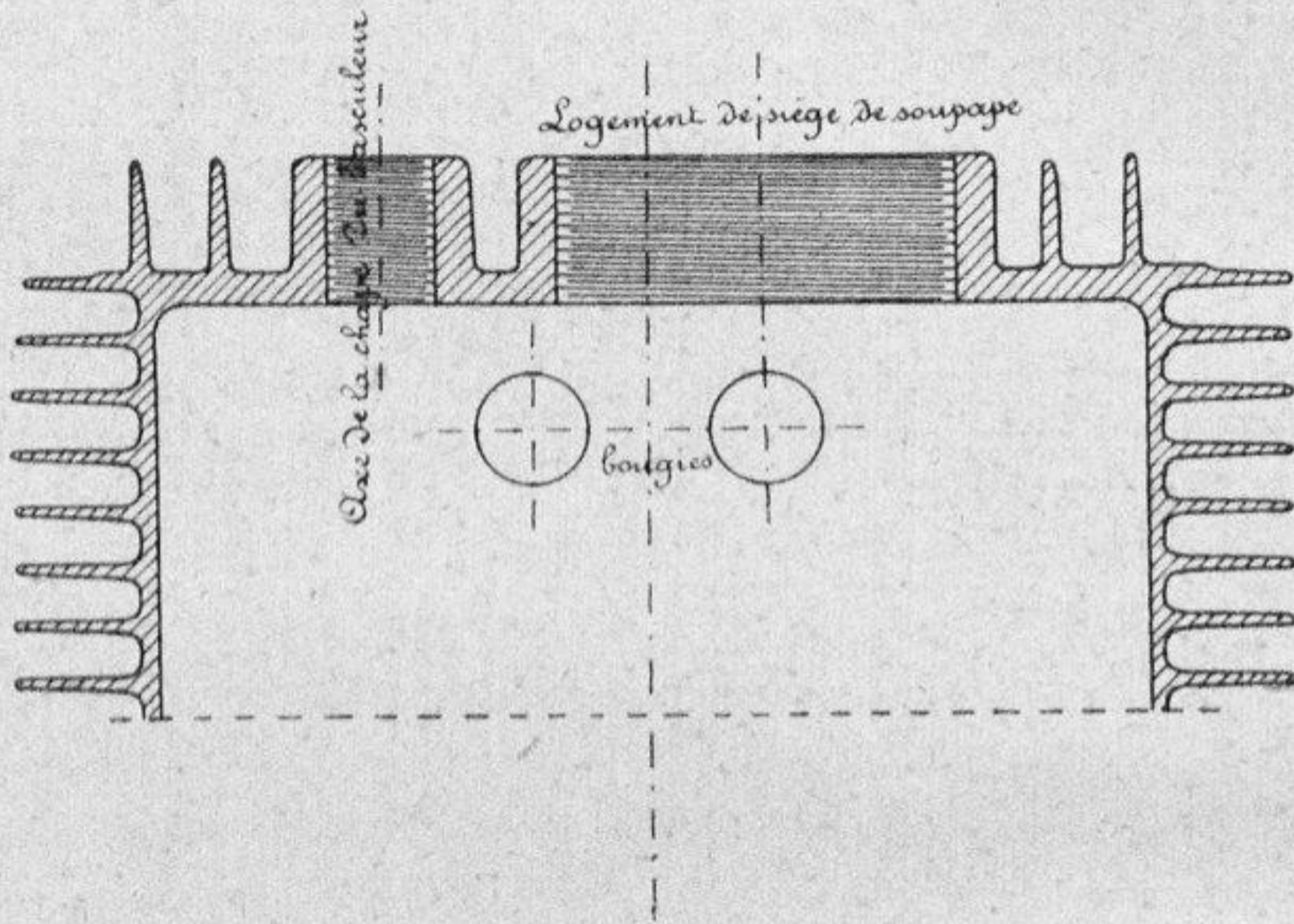


Fig. 79. — Partie supérieure de cylindre Clerget.

moléculaire intense du métal dont les qualités peuvent être altérées.

Il y a intérêt, au point de vue de l'encombrement, de diminuer le plus possible la longueur du cylindre : on est limité par le fait que les cylindres se touchent vers le bas et on gagne autant que possible de longueur en laissant dépasser les pistons des cylindres dans le carter au point mort bas sans toutefois compromettre le guidage. Les figures 78 et 79 nous montrent des coupes de cylindres à sièges de soupapes rapportés.

L'assemblage des cylindres au carter se fait de plusieurs manières, suivant que le carter est d'un seul bloc ou en deux parties.

La figure (80-*a*) indique le montage adopté sur le 50 HP Gnome dont le carter est en forme d'anneau. Le cylindre est claveté dans le trou pratiqué sur le carter. Un segment intérieur maintenu par deux clavettes de serrage fixe sa position. Ce genre de montage nécessite une grande précision et, si la clavette de guidage n'est pas parfaitement ajustée, le cylindre s'ovalise. Dans les autres types de moteurs Gnome, le carter est en deux pièces et les cylindres sont serrés entre les coquilles; des joues ménagées sur le cylindre empêchent son déplacement.

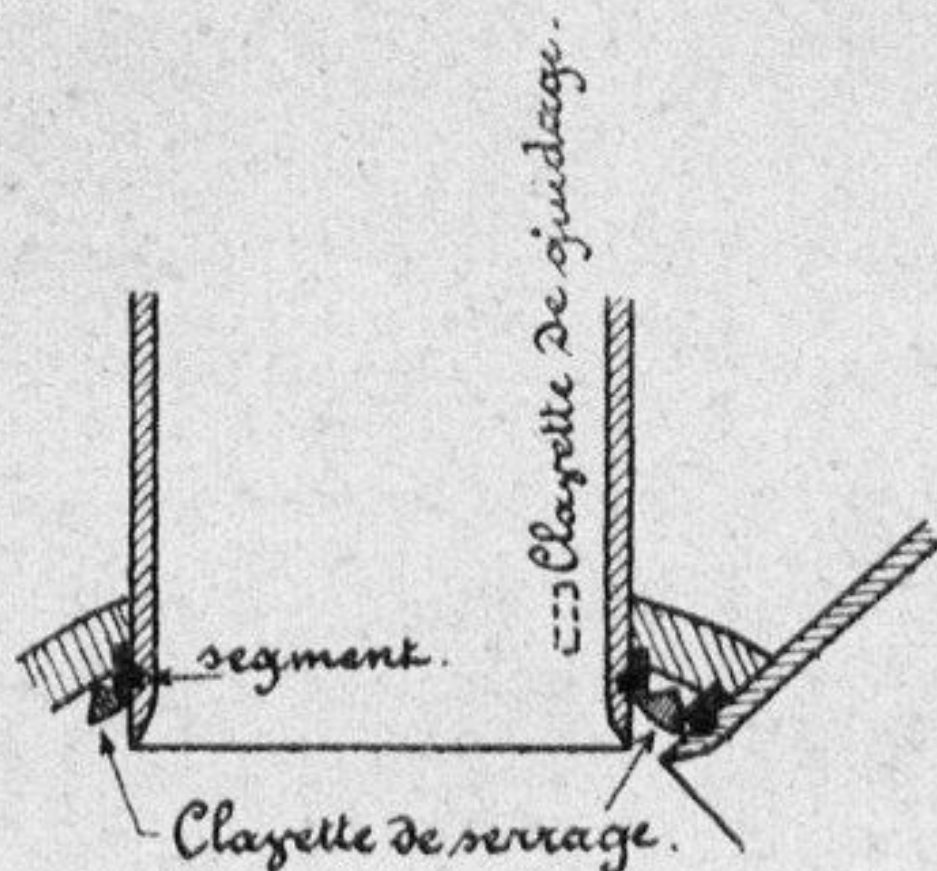


Fig. 80 a.

La figure 80-*b* indique l'assemblage adopté sur les moteurs Le Rhône. Le cylindre est vissé sur le carter

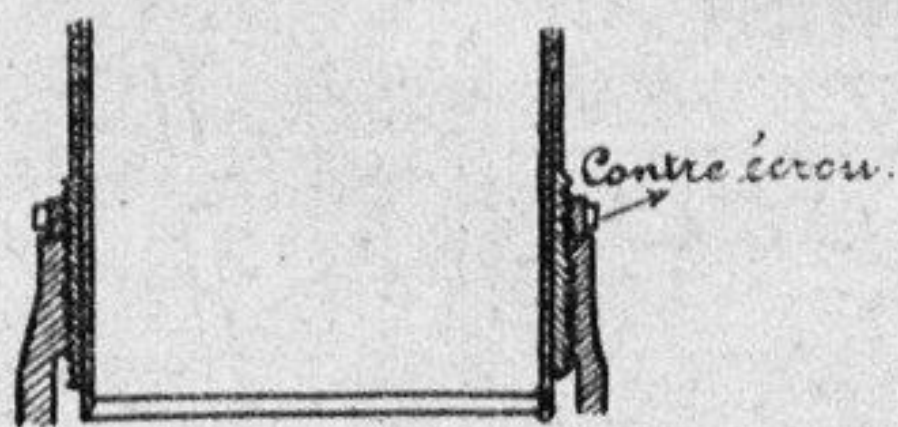


Fig. 80 b.

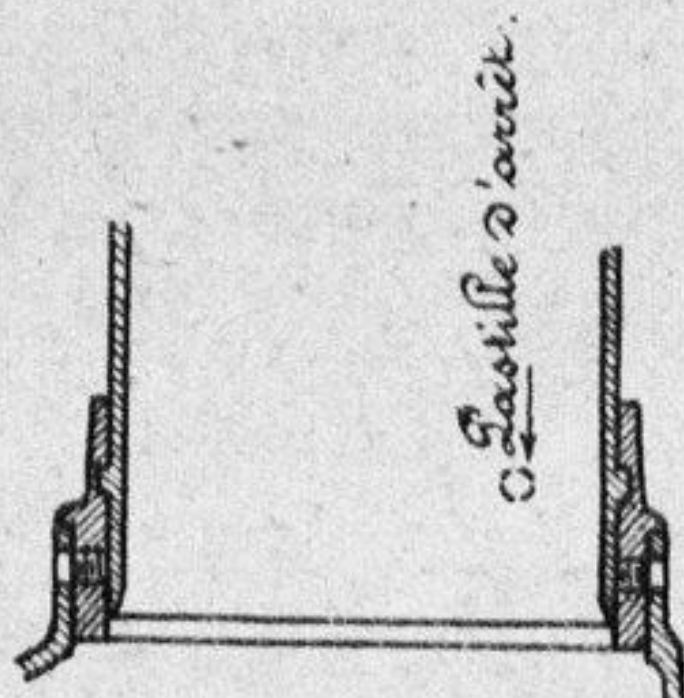


Fig. 80 c.

d'une longueur suffisante pour prévenir tout arrachement. Un contre-écrou maintient le cylindre dans sa position convenable. Il est nécessaire que les filetages

soient établis de façon que l'on puisse régler les cylindres exactement à la même longueur.

La disposition adoptée sur les moteurs Clerget (fig. 80-*c*) est analogue à celle des moteurs Gnome ; cependant, dans les derniers moteurs, les cylindres sont vissés.

Organes de commande des soupapes.

Les organes de commande des soupapes comprennent, outre les cames, les galets ou taquets qui suivent leur contour, les tiges et les basculeurs de cylindre.

Ces organes, reliés entre eux par des articulations, constituent un mécanisme qui doit satisfaire à plusieurs conditions :

1° Être réglable, afin d'avoir la possibilité de faire varier le réglage du moteur à volonté et corriger les dérèglages provenant de l'usure des pièces.

2° Donner le moins d'usure possible, afin d'éviter les variations en cours de marche. On aura soin de prévoir le graissage des articulations, celui-ci ne pouvant avoir lieu par la circulation d'huile du moteur.

3° Ne pas donner passage à l'air, de l'extérieur à l'intérieur du carter, au point où le système traverse le carter, afin de ne pas modifier la composition du mélange explosif.

4° Être équilibré à la force centrifuge ou tenir compte de son action dans le réglage du moteur.

Les *cames* ont été suffisamment étudiées au chapitre de la distribution pour ne pas avoir à y revenir. Notons cependant qu'elles tournent sur leurs axes par des roulements à billes ou des bagues en bronze afin de donner le moins de frottement possible.

Les galets sont en acier trempé très dur. Ils sont montés à l'extrémité du *poussoir*, terminé en chape, qui coulisse dans une douille en bronze, traversant le carter, formant guidage et presse-étoupe (fig. 81).

Le montage des taquets est identique.

Dans le cas de cames conjuguées (moteur Le Rhône), où la même tige commande l'admission et l'échappement, celle-ci est fixée directement sur le basculeur de carter, portant deux galets, sans l'intermédiaire de poussoir. Elle a un mouvement d'oscillation à son passage à travers la paroi du carter : il faut alors un presse-étoupe spécial (fig. 29).

Les tiges sont en acier à section circulaire pleine ou creuse, avec une extrémité, au moins, filetée pour le réglage en longueur. Dans le cas de la commande par poussoir, l'axe de la tige est oblique par rapport à l'axe du poussoir, et la réunion se fait par rotule (cas de la figure).

Le *basculeur de cylindre* est un levier, oscillant dans une chape ou un palier, fixé sur la partie supérieure du cylindre. L'articulation ne peut guère maintenir l'huile qui est projetée par la force centrifuge ; de plus elle est exposée aux gaz de l'échappement qui empêchent tout graissage. C'est pour cette raison que dans le moteur

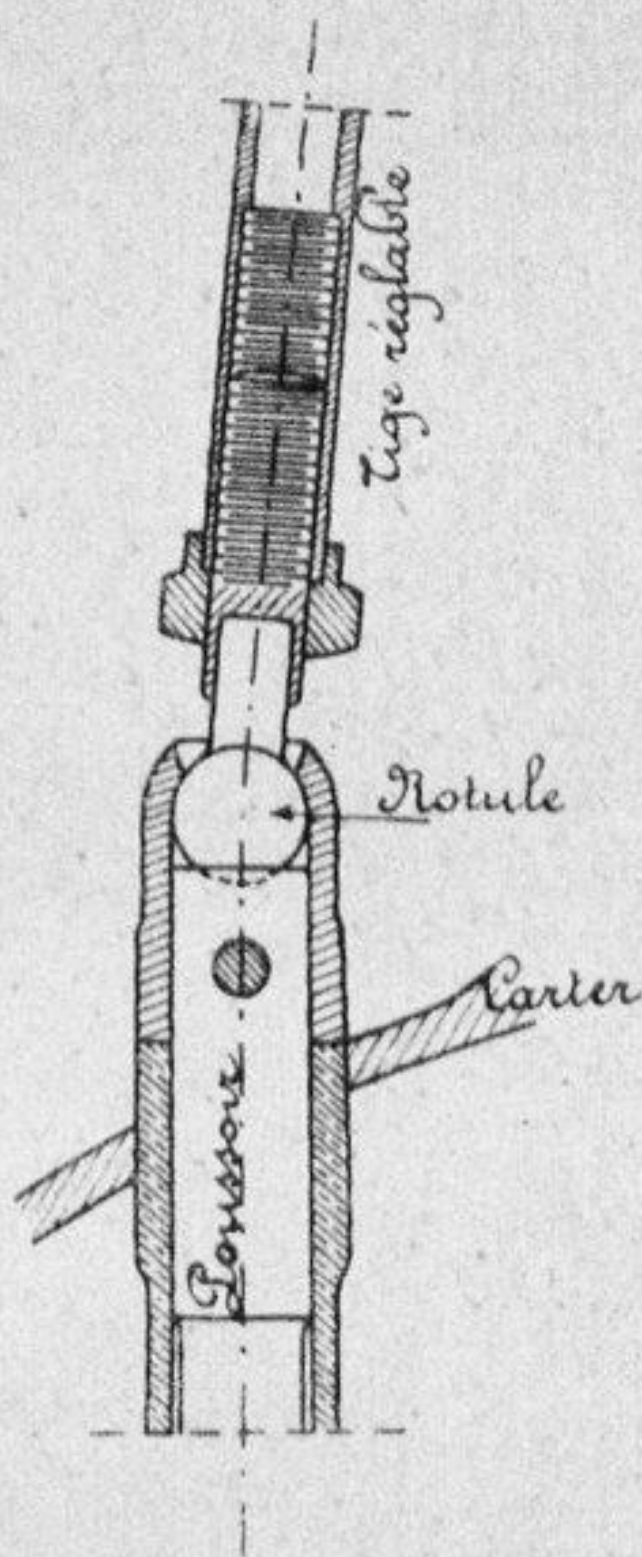


Fig. 81. — Réunion du poussoir à la tige par rotule.

Clerget nous trouvons des axes à couteau montés avec de la graisse Belleville, et dans le moteur Le Rhône des axes montés sur deux roulements à billes logés dans un palier.

Si le déséquilibre dû à la force centrifuge est trop

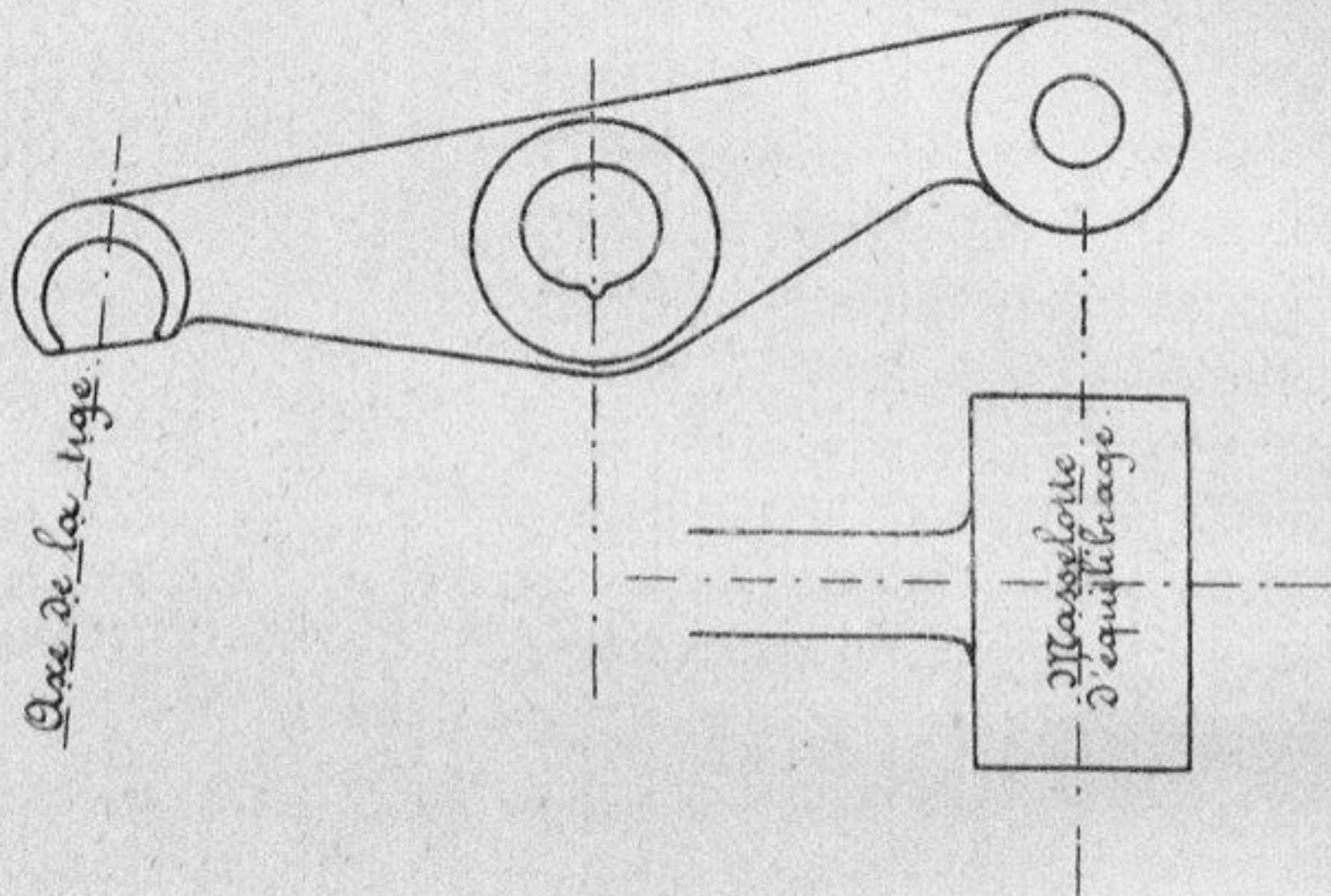


Fig. 82. — Basculeur de cylindre équilibré.

grand, on est dans l'obligation d'équilibrer le système par des masselottes faisant corps avec le basculeur (fig. 82).

Passage des gaz du carter aux cylindres.

Le procédé le plus couramment employé pour amener les gaz frais du carter aux cylindres consiste en l'emploi de tuyauteries amovibles ou *pipes*, fixées extérieurement au cylindre. Dans le cas où la soupape d'admission est automatique, celle-ci est placée sur le piston (Gnome) et le passage des gaz se fait directement à travers la soupape. Dans le monosoupape Gnome, le

passage est également direct et se fait à travers des orifices ménagés dans le bas du cylindre, que vient découvrir le piston un peu avant la fin de course.

Dans l'emploi des pipes, les règles suivantes sont à observer :

1° Éviter les rentrées d'air à l'assemblage sur le carter et le cylindre, en interposant des joints métallo-plastiques.

2° Donner à la tuyauterie une section suffisante pour que les pertes de charge ne ralentissent pas la vitesse des gaz et ne nuisent pas au parfait remplissage de la cylindrée.

3° Éviter le refroidissement de la tuyauterie pour empêcher la condensation de l'essence : la pipe sera placée dans une zone de courants d'air chaud.

4° Permettre la libre dilatation des pipes. Elles se dilatent différemment que les cylindres car elles sont à des températures différentes et constituées de métaux à coefficients de dilatation différents.

Dans le moteur Clerget, les pipes sont en tube d'acier de section elliptique (fig. 83). Elles sont fixées sur le cylindre par brides et boulons et leur autre extrémité traverse le carter à travers un presse-étoupe, permettant ainsi les dilatations.

Le moteur Le Rhône avait au début des pipes coulées en aluminium avec leurs brides d'attache (fig. 84). Les différences de dilatation causaient de très fréquentes

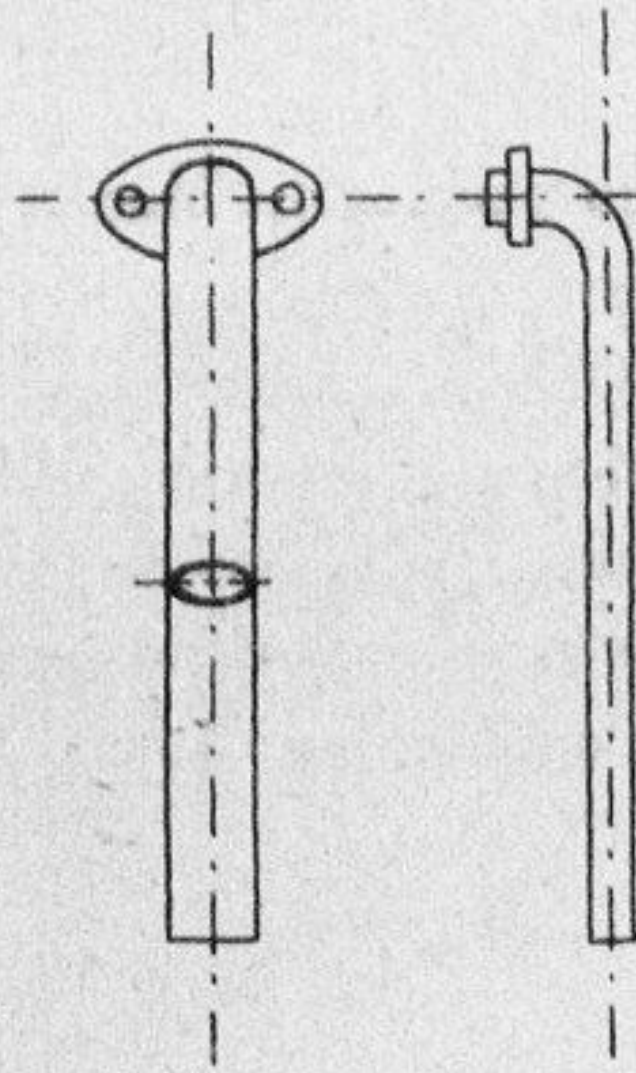


Fig. 83. — Pipe Clerget.

ruptures aux points faibles, c'est-à-dire à la naissance des brides. Elles furent remplacées par des tubulures en cuivre rouge, en deux parties, avec emboîtement; les brides étaient brasées sur les tubulures. Cette disposi-

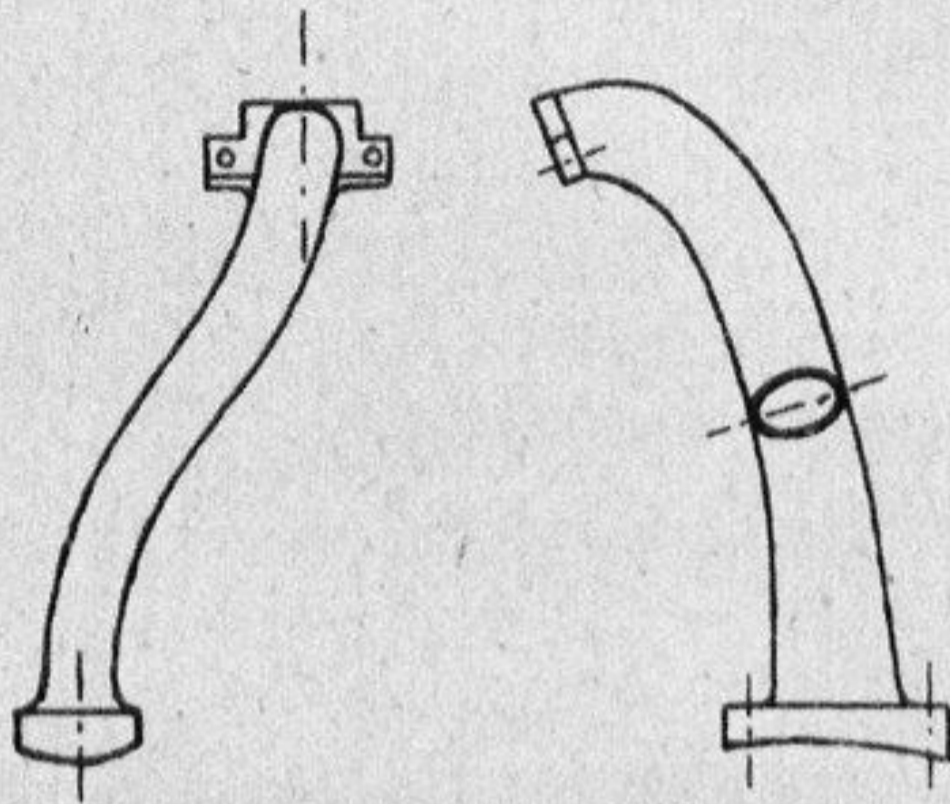


Fig. 84. — Pipe Le Rhône.

tion permettait bien les dilatations, mais donnait lieu à des rentrées d'air.

On souda alors les deux parties au joint, mais la dilatation s'effectuant rompait la soudure. Actuellement les pipes employées sont en deux parties, s'emboîtant sur des portées cylindriques, par l'intermédiaire d'un joint en caoutchouc formant presse-étoupe.

Les soupapes.

Les soupapes sont les organes qui, par une commande appropriée, permettent à la masse gazeuse d'évoluer pour accomplir le cycle. La soupape d'admission donne passage aux gaz frais du carter dans le cylindre; elle est commandée ou automatique, et dans ce dernier cas, où le fonctionnement est à la merci du ressort de rappel, la soupape est placée indifféremment sur le cylindre ou

sur le fond du piston (disposition Gnome, fig. 74). La soupape d'échappement permet l'évacuation des gaz brûlés et ne peut être que commandée.

On reproche aux soupapes d'être bruyantes et d'étrangler les gaz. Avec des cames bien étudiées on peut atténuer le bruit, mais on ne remédie pas à l'étranglement de la veine gazeuse, à cause des difficultés qu'on a de donner à la soupape le diamètre voulu ; car le chemin que parcourent les gaz est forcément sinueux, et l'ouverture et la fermeture se font lentement. C'est pour ces raisons qu'on a recherché, par divers procédés, à remplacer les soupapes.

Toute soupape comprend : une *tête*, dont le bord de portée circulaire s'appuie sur un *siège*, terminée par une *queue*, coulissant dans un *guide* ; elle est constamment appuyée sur son siège par un *ressort de rappel*.

Sur un rotatif en particulier, les soupapes doivent être légères afin de diminuer les effets de la force centrifuge, qui provoquent des matages ; de plus, elles sont soumises à de fortes températures, surtout celles d'échappement qui laminent des gaz enflammés. Par suite, ces organes devront être fabriqués avec des matériaux de première qualité et présenter des formes qui ne permettent pas les déformations : la tête sera raccordée à la queue par un congé de fort diamètre, le trait de scie pour le rodage ne sera pas profond au point d'enlever de la rigidité à la tête.

Les soupapes s'ouvrent vers l'intérieur du cylindre afin que la pression à la compression et à l'explosion ait tendance à bien les appliquer sur leur siège. En marche normale, la force centrifuge agit dans ce sens et les ressorts de rappel deviennent superflus. Ils sont toute-

fois indispensables pour la mise en marche du moteur, mais leur bande sera faible. Il est nécessaire que l'axe de la soupape passe par l'axe du moteur et soit dans le plan de rotation de l'axe des cylindres ou dans un plan

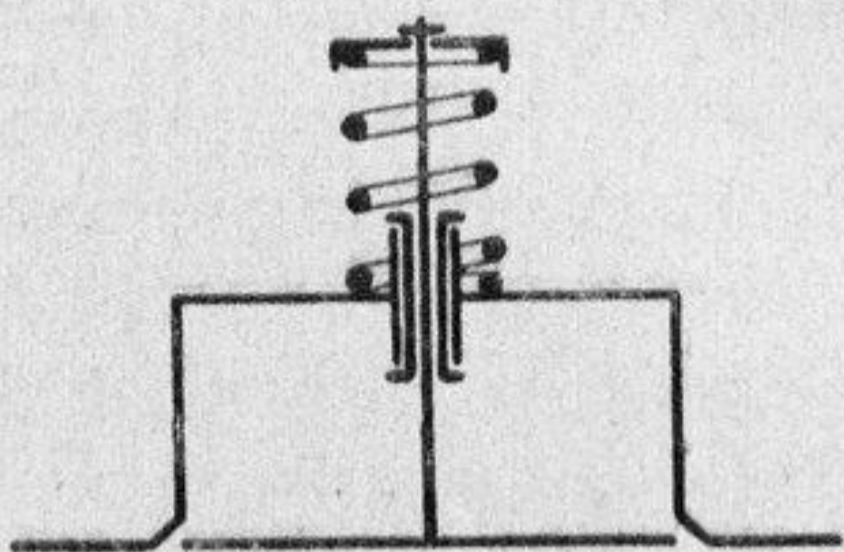


Fig. 85. — Ressort de rappel à boudin.

parallèle, afin que la force centrifuge soit dirigée suivant l'axe de la soupape et applique celle-ci sur son siège, sans effort oblique.

Les sièges des soupapes sont à portée conique ou plate. La soupape conique est mieux assise sur son siège et dévie moins la veine fluide ; mais, à levée égale,

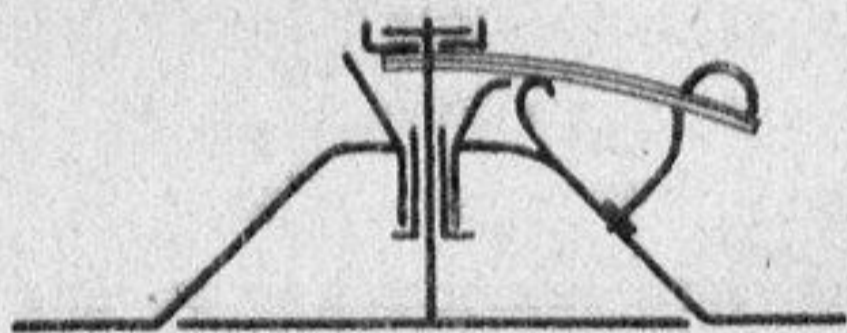


Fig. 86. — Ressort de rappel à lames.

elle offre une section de passage moindre que la soupape plate.

Les ressorts sont de catégories différentes, soit à boudins, à lames ou à pincettes et dans tous les cas ils doivent être protégés contre les gaz d'échappement par des cuvettes (fig. 85, 86, 87).

Les guides de soupape devront être rapportés pour être changés facilement, car ils s'usent par les efforts

d'inertie toujours appliqués dans le même plan. Le graissage des guides étant défectueux, ceux-ci seront en un métal doux, la fonte par exemple, qui donne un bon frottement.

Les grippages sont à craindre et risquent de provoquer des accidents à la mise en marche ou en marche normale. Il est nécessaire de vérifier fréquemment l'état

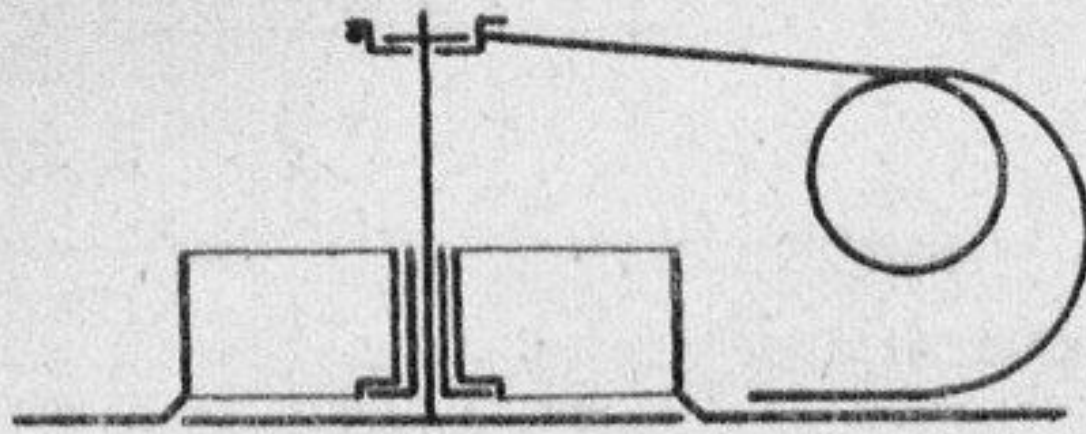


Fig. 87. — Ressort de rappel à pincettes.

des queues de soupape et des ressorts de rappel. Il y a lieu de se rendre compte aussi des fuites, car sièges et soupapes se voilent facilement, et de les éliminer par rodage. Une fuite négligée finit par laisser passer des jets de gaz, formant chalumeau, dont les effets peuvent être désastreux. Dans tous les cas, les fuites par les soupapes diminuent la compression, par suite le rendement du moteur, et par la soupape d'admission elles occasionnent des retours au carburateur qui peuvent être dangereux s'ils n'ont pas été prévus.

CHAPITRE VIII

LES PANNES

ET LES CAUSES DE MAUVAIS FONCTIONNEMENT

Les pannes sont les causes qui provoquent le mauvais fonctionnement ou l'arrêt du moteur. Celui-ci étant l'organe vital d'un appareil à sustentation dépendante, l'arrêt du moteur entrave la marche de l'appareil, lequel, livré à lui-même, n'a d'autre ressource que de gagner le sol en vol plané.

Un tel atterrissage forcé, à un moment inattendu, expose l'appareil aérien aux risques les plus graves : on comprend dès lors l'importance du bon fonctionnement du moteur, auquel est étroitement liée la sécurité de marche.

Malgré une construction soignée à l'usine, un réglage précis, un équilibrage parfait, tout organe mécanique est sujet à détérioration en cours de fonctionnement. Nous allons examiner les cas les plus fréquents des anomalies qui peuvent se présenter, sans avoir la prétention de les signaler toutes, chacun des organes pouvant se rompre, se dérégler, enfin ne plus remplir sa fonction pour des causes très variées.

Les pannes de moteur proviennent :

1° *De l'allumage*, sa suppression provoquant l'arrêt instantané du moteur ; c'est « la panne sèche » ;

2° *De la carburation*.

3° *Du réglage du moteur.*

4° *Du graissage.*

5° *De la rupture d'organes.*

L'allumage.

C'est la fonction qui donne lieu à la plupart des pannes ; tout le circuit électrique est sujet à détérioration et nous allons passer en revue les avaries susceptibles de se produire aux divers organes, en suivant le circuit.

MAGNÉTO. — La magnéto est animée d'une grande vitesse de rotation. Pour un moteur 9 cylindres, par exemple, tournant à 1 200 tours-minute sa vitesse est de $\frac{1\ 200 \times 9}{4} = 2\ 700$ tours-minute.

1° Si le graissage est insuffisant, les paliers s'échauffent, grippent et peuvent entraîner la rupture de l'arbre. Si l'huile est fournie en quantité trop abondante, la force centrifuge, les vibrations, la projettent sur toute sa surface et des courts-circuits peuvent se produire. Il est nécessaire d'effectuer le graissage des magnétos, en tenant compte des prescriptions faites par les constructeurs.

2° Les charbons du primaire et du secondaire, qui frottent sur des surfaces animées d'une grande vitesse de rotation, s'usent, peuvent même se coincer et se casser. Les poussières libérées encrassent les chemins de frottement et nuisent au parfait contact des charbons : un nettoyage s'impose donc, au bout d'un certain temps de fonctionnement.

3° L'isolant recouvrant l'induit peut disparaître, sur une certaine étendue, à la suite d'un choc ou d'un

frottement quelconque. Les fils se trouvent mis à nu et des courts-circuits peuvent se produire. On dit que la magnéto est « grillée », elle ne donne plus de courant.

4° Le rupteur (fig. 88) est constitué par un levier d'équerre, articulé en son milieu sur un pivot et isolé de celui-ci par une bague en fibrine. Par l'hu-

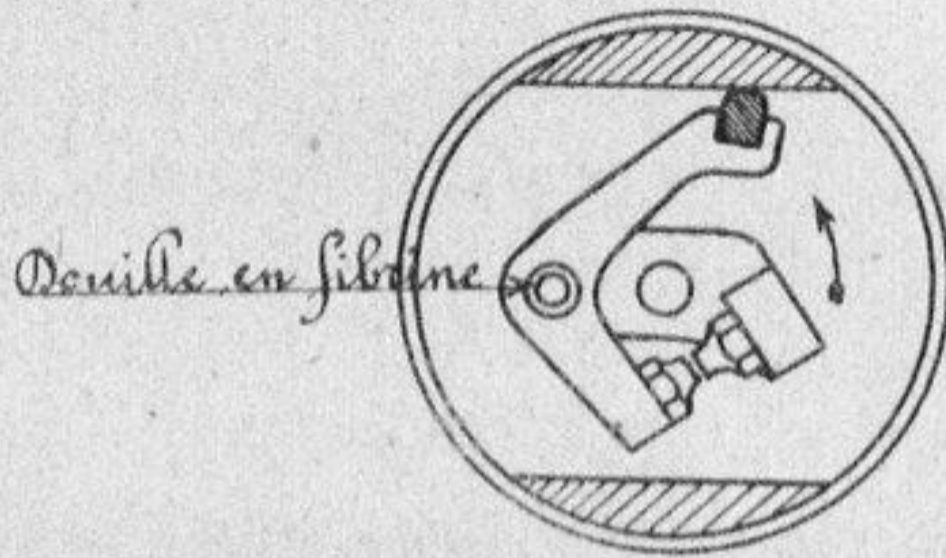


Fig. 88. — Rupteur de magnéto.

midité, cette fibre gonfle et gêne le mouvement de rappel du levier. Les vis platinées sont constamment séparées et la rupture du primaire ne peut plus se produire, puisqu'il est ouvert : l'étincelle n'a plus lieu.

5° Les vis platinées s'usent par brûlure et matage, et les marteaux mis à nu sont rapidement hors de service.

6° Après un temps plus ou moins long de fonctionnement, les aimants des magnétos se désaimantent partiellement : le courant primaire produit perd de son voltage, le secondaire également et l'étincelle perd de sa chaleur, ce qui diminue la puissance des explosions et rend le départ excessivement dur.

7° A la suite de l'usure du frotteur de rupteur sur les cames, le point de séparation des vis platinées ne se fait plus au moment voulu, du maximum de flux, autre cause de perte de chaleur de l'étincelle.

8° Un rapprochement excessif des pointes du para-foudre ou un court-circuit entre ces pointes par eau, limaille, etc., supprime l'étincelle aux bougies.

9° La détérioration de l'isolant du condensateur annule son effet et donne des étincelles aux vis platinées, d'où perte de puissance du courant et désagrégation des vis.

FICHE DE CONTACT. — La fiche de contact, qui réunit la borne du secondaire de la magnéto au porte-charbon, n'est guère susceptible de se détériorer. Cependant, il y a deux précautions à prendre :

1° Pour l'attache : la réunion aux bornes n'a lieu que par contact à pression (fig. 89). Sur un appareil on fera une ligature au fil de laiton recuit entre les sections AB et CD.

On a réalisé de nouvelles attaches présentant une sécurité parfaite, la ligature devient alors superflue.

2° Pour un meilleur isolement avec les pièces métalliques voisines, tout le contact et la ligature en laiton seront entourés d'un enroulement de chaterton.

PORTE-CHARBON. — Le charbon peut se trouver brisé à la suite d'un choc et donner lieu à des ratés intermittents. Le ressort doit appuyer modérément sur le charbon de façon que celui-ci frotte sans excès sur le distributeur qui se creuserait à la longue d'une gorge circulaire. Il est très important de vérifier la position



Fig. 89. — Fiche de contact de secondaire.

du charbon au moment où une étincelle se produit. A ce moment, où les vis platinées se séparent, il doit appuyer sur le plot du distributeur, correspondant au cylindre en fin de compression.

DISTRIBUTEUR. — Il constitue une pièce assez fragile, en ébonite, avec plots en cuivre encastrés. Le moindre choc peut provoquer des fentes qui usent rapidement le charbon : un distributeur fendu doit être proscrit, la force centrifuge peut le faire voler en éclats.

L'huile de graissage se répand sur la face garnie de plots, pendant la marche du moteur : des courts-circuits peuvent ainsi se produire entre les plots : il est nécessaire, avant chaque départ, de nettoyer le distributeur avec un chiffon imbibé d'essence.

FILS D'ALLUMAGE. — Ces fils, en laiton de 6/10 à 1 millimètre, doivent être recuits.

Les attaches aux bornes du distributeur et aux bougies doivent être faites soigneusement. Il faut avoir soin de couper ras les extrémités du fil, après la torsade, pour éviter des contacts accidentels avec des masses avoisinantes. Les fils sont détachés des bougies lors de la vérification de ces dernières, qui est assez fréquente ; le recuit disparaît après les torsades successives et il est indispensable de changer les fils quand on les a détachés plusieurs fois, car ils peuvent casser pendant la marche, supprimant l'allumage dans les cylindres correspondants.

Dans le double allumage, les fils aboutissant aux bougies d'un même cylindre sont parfois très voisins. S'il y avait contact accidentel, le bénéfice du double-allumage serait en partie perdu car, en cas d'encrasse-

ment d'une bougie, l'autre ne fonctionne plus, le courant choisissant le chemin de moindre résistance.

Dans le cas où les bornes du distributeur sont difficilement accessibles, on opère l'attache de la façon suivante : le fil étant coupé de longueur, enrouler l'extrémité sur une tige de 1 millimètre, sur plusieurs spires (fig. 90). Passer l'extrémité op-

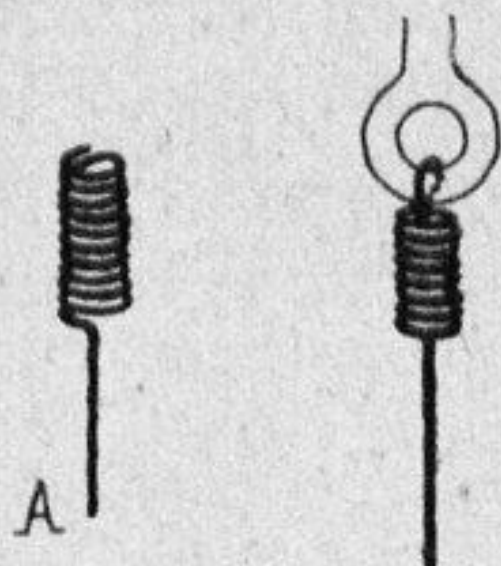


Fig. 90. — Attache de fil.

posée A, du fil, dans le trou de la borne, puis dans les spires et tirer le bout A. On obtient ainsi une attache propre et solide.

BOUGIES. — Les bougies ont une influence considérable sur la marche des moteurs. Malgré toutes les dispositions adoptées, les soins apportés à la fabrication, elles finissent par s'encrasser, d'où résultent l'auto-allumage ou le court-circuit, supprimant l'étincelle. Il est donc nécessaire de les nettoyer fréquemment ; le décrassage s'opère en grattant légèrement les électrodes, sans projeter de particule métallique à l'intérieur, après un bain de plusieurs heures dans l'essence ou mieux dans l'alcool.

Avant chaque montage de bougie, il faut observer les prescriptions suivantes :

- 1° Vérification de l'écartement des électrodes ;
- 2° Ne pas visser une bougie qui force dans son filetage, avant d'avoir passé le taraud de 18 millimètres au pas de 1,5 mm. ;

3° Enduire le filet de graisse Belleville et mettre un joint métallo-plastique entre la bougie et le cylindre.

Après l'arrêt du moteur, il est bon d'évacuer les

résidus d'huile brûlée accumulés dans le fond des cylindres, par la force centrifuge, en ouvrant les soupapes d'échappement et en les faisant passer successivement par le point mort bas. On pare ainsi en partie à l'incrustation des résidus, lesquels risquent d'encrasser fortement les bougies, rendant la mise en marche suivante du moteur très difficile, sinon impossible.

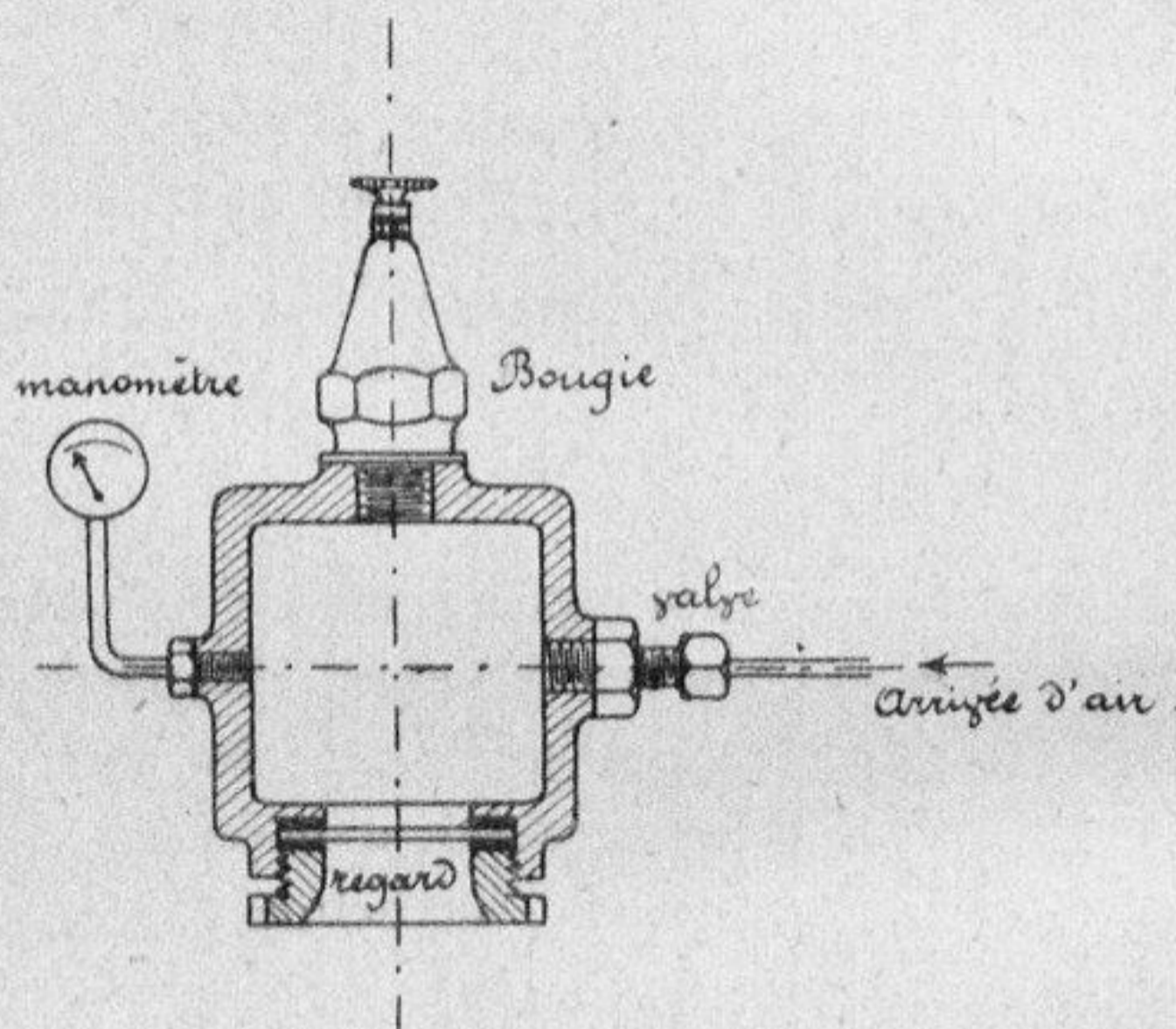


Fig. 91. — Appareil pour essais de bougies.

La vérification des bougies, avant le montage sur le cylindre, peut s'effectuer dans les mêmes conditions que pendant son fonctionnement sur le moteur (sauf l'échappement) à l'aide d'un appareil spécial (fig. 91). Cet appareil constitue une chambre hermétique, sur une face se visse la bougie, sur la face opposée est un regard; une valve permet de comprimer de l'air et de maintenir dans la chambre une pression égale à la pression dans le cylindre en fin de compression. On fait jaillir une étincelle à la bougie et par le regard il est aisé de se rendre compte si elle fonctionne.

FIL DE MASSE. — Il est nécessaire que le fil de masse soit soigneusement isolé de la masse métallique de l'appareil. Si une mise à la masse, continue ou intermittente, par les vibrations du fil allant à l'interrupteur a lieu, des ratés ou l'arrêt immédiat du moteur se produisent.

La carburation.

Les pannes provenant de la carburation sont plus rares que les précédentes, mais elles se produisent néanmoins pour diverses causes :

1° L'arrivée d'essence peut être arrêtée par rupture ou obstruction de canalisation, ou plus fréquemment de gicleur. Il faut avoir soin de filtrer l'essence à travers une peau de chamois, avant son introduction dans les réservoirs, et d'établir un second filtre, sur le cours de la canalisation, pour arrêter les gouttelettes d'eau et autres impuretés.

2° La carburation elle-même peut être mauvaise au point de provoquer des ratés. Avec une trop grande quantité d'essence, le mélange trop riche n'est plus explosif, il fuse, mais l'explosion ne se produit pas, le moteur est « noyé ». On s'aperçoit de l'excès d'essence aux flammes noires de l'échappement. Avec une trop grande quantité d'air, si le mélange reste explosif, l'explosion est très brutale et fait cogner le moteur ; par l'échappement sortent des flammes bleues, caractéristiques d'un excès d'air. Cet excès d'air provient généralement d'un mauvais réglage du carburateur, mais il peut provenir aussi des infiltrations d'air par les joints du carter ou les tubulures d'aspiration. Il est nécessaire d'interposer des joints sur les faces portantes des pipes d'admission ;

3° Le robinet de réglage d'essence doit être le plus près possible du gicleur. Si l'alésage du gicleur est trop grand, dans le vol, l'inertie de la colonne d'essence contenue dans le tube n'étant plus freiné suffisamment au gicleur, le débit est saccadé et le réglage impossible ; le moteur ne tourne pas régulièrement.

Le réglage.

Le moteur doit être constamment réglé conformément aux données du constructeur qui a étudié le réglage donnant le meilleur rendement. Ce réglage subit des variations à la suite de l'usure des organes de commande, des cames et des soupapes et il est nécessaire de le vérifier de temps en temps.

Les variations de quelques degrés, dans les angles d'avance ou de retard d'ouverture et de fermeture des soupapes, influent peu sur la marche du moteur ; mais un réglage irraisonné peut provoquer des baisses de régime, véritables pannes.

Si la soupape d'admission s'ouvre avant que celle d'échappement soit fermée, les gaz frais seront enflammés, donnant un retour au carburateur, souvent très dangereux.

La soupape d'admission fermant avec trop peu de retard, la cylindrée est incomplète et le moteur perd de sa puissance. Avec trop de retard on aura une expulsion de gaz frais aspirés et une diminution de la compression.

Une ouverture trop hâtive de la soupape d'échappement ne laisse pas s'effectuer assez longtemps la détente ; trop tardive, crée une pression supplémentaire pour l'expulsion des gaz brûlés.

La fermeture de l'échappement se fera vers le point mort haut, avec la condition que les deux soupapes ne soient pas ouvertes ensemble, mais qu'il y ait un intervalle, aussi minime que possible, entre la fermeture de l'une et l'ouverture de l'autre.

Le graissage.

Les pompes à huile sont établies pour donner le graissage nécessaire et suffisant aux moteurs. Mais il peut arriver cependant que des organes s'échauffent d'une façon anormale, par suite d'un manque de graissage, ce qui occasionne souvent leur rupture et paralyse le fonctionnement du moteur. Sans considérer les cas d'arrêt de la pompe par rupture de pièces, il peut arriver :

1° L'obstruction de la canalisation d'huile, ou simplement d'un trou de graissage ;

2° Que des huiles de qualité inférieure se décomposent sous l'action de la chaleur, en libérant des particules solides, provoquant le grippage ;

3° Avec des grands froids et des altitudes élevées, l'huile peut se congeler perdant ses qualités de limpidité ; les canalisations s'engorgent et le graissage n'a pas lieu.

Rupture d'organes.

A la suite de nombreux essais et de l'étude approfondie des accidents dus à la rupture de pièces, les constructeurs se sont arrêtés à des formes d'organes et des qualités de métal, susceptibles de supporter en toute sécurité les fatigues imposées pendant la marche du moteur.

Cependant, à la suite de chocs imprévus, de mauvais montages ou de fatigue exagérée du métal, par une longue durée de fonctionnement, certaines pièces peuvent se briser, occasionnant l'arrêt du moteur.

Ces ruptures d'organes ne peuvent guère se prévoir, car la fatigue ne modifie que la texture moléculaire du métal; mais il est bon de vérifier de temps en temps l'état des pièces sujettes à usure. C'est ainsi que tous les constructeurs recommandent une visite générale du moteur toutes les trente heures environ de fonctionnement.

Toute pièce qui présenterait des amorces de rupture, qui aurait subi un choc violent ou une usure exagérée sera changée.

CHAPITRE IX

INSTALLATION DU MOTEUR SUR UN APPAREIL

Le rotatif se monte à l'avant ou à l'arrière de la nacelle, suivant le genre d'appareil, et de deux façons différentes :

1° *En cage*. — Le moteur est supporté à l'arrière

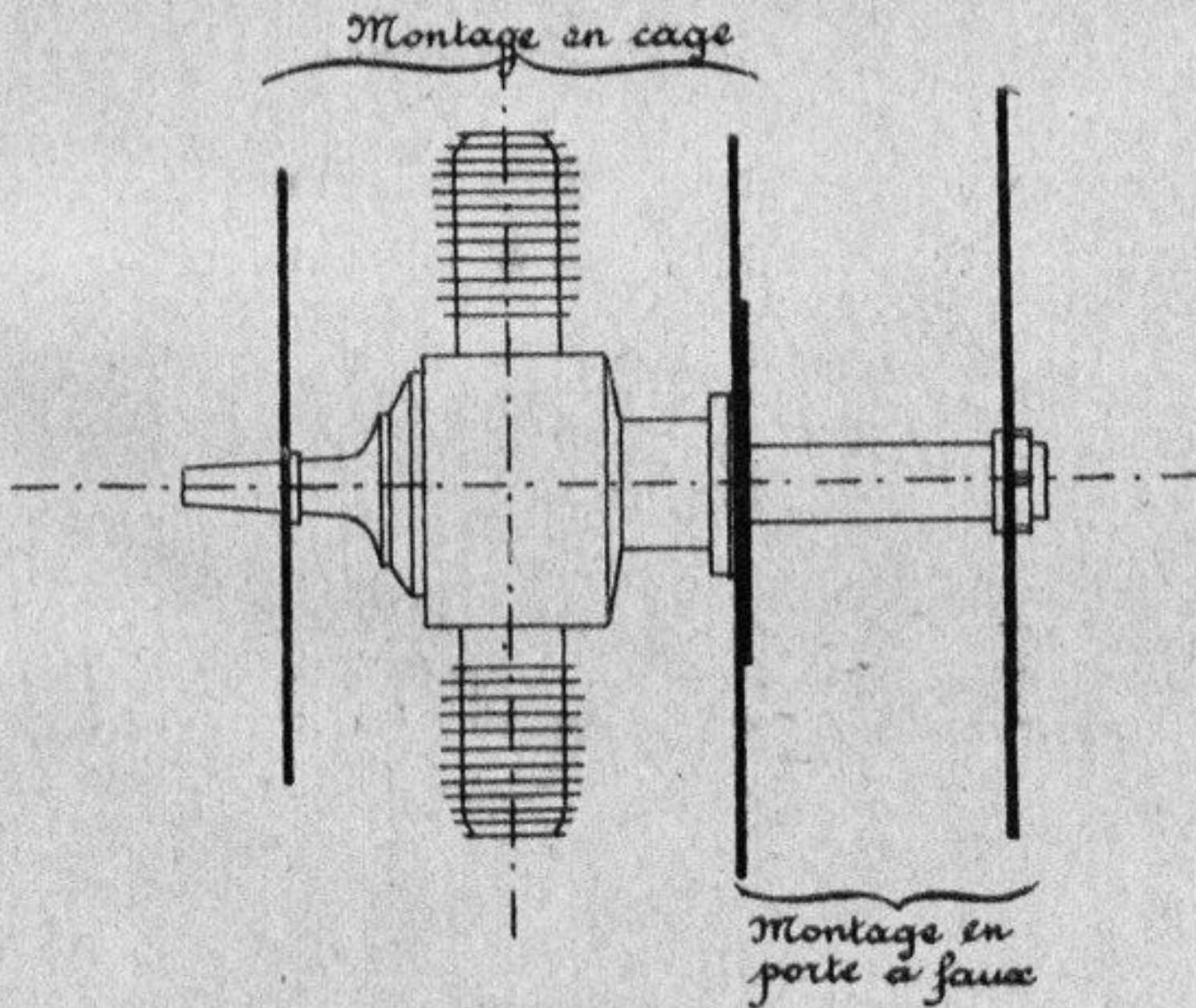


Fig. 92. — Divers montages d'un moteur.

par le moyeu de volant boulonné sur une tôle nervurée de la nacelle ; à l'avant il tourne sur un roulement à billes emmanché sur le nez et supporté par une tôle découpée et nervurée, prenant attache sur les longerons (fig. 92).

2° *En porte à faux*. — Avec une attache au moyeu de volant, l'autre à l'extrémité de l'arbre : une collette, serrée par un écrou contre un épaulement du vilebrequin, est boulonnée sur quatre tirants prenant attache sur les longerons ; les quatre tirants et la collette constituent la *patte d'araignée*.

Lors du montage du moteur, on aura soin de repérer le point mort haut qui sera placé sur la verticale de l'axe et au-dessus.

Dès que le moteur est bien fixé par ses attaches, on procède au montage de la magnéto, en observant son calage, de la pompe à huile et du carburateur.

Canalisation d'essence.

L'essence est contenue dans un réservoir avant ou *nourrice*, en charge de 12 à 18 centimètres sur le

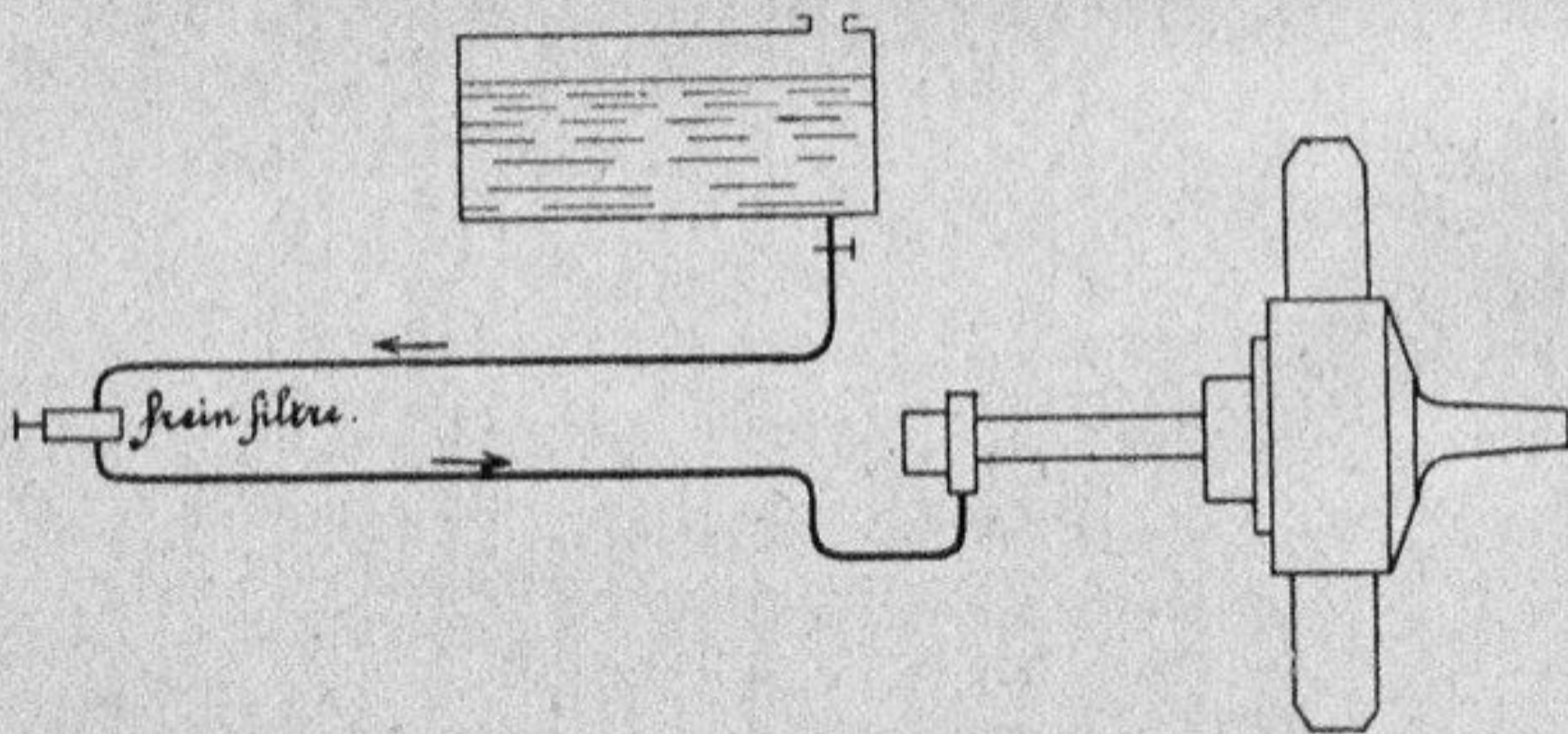


Fig. 93. — Alimentation par nourrice unique.

gicleur. Un niveau gradué est placé sous les yeux du pilote qui est constamment renseigné sur la quantité de combustible dont il dispose.

Pour les appareils à faible rayon d'action, la nourrice peut avoir des dimensions suffisantes pour contenir

l'essence nécessaire à la randonnée, et constitue alors le réservoir unique (fig. 93). Si l'installation ne permet pas une charge suffisante au gicleur, on emploie un réservoir sous pression d'air avec mano-détendeur afin de conserver une pression constante (fig. 94).

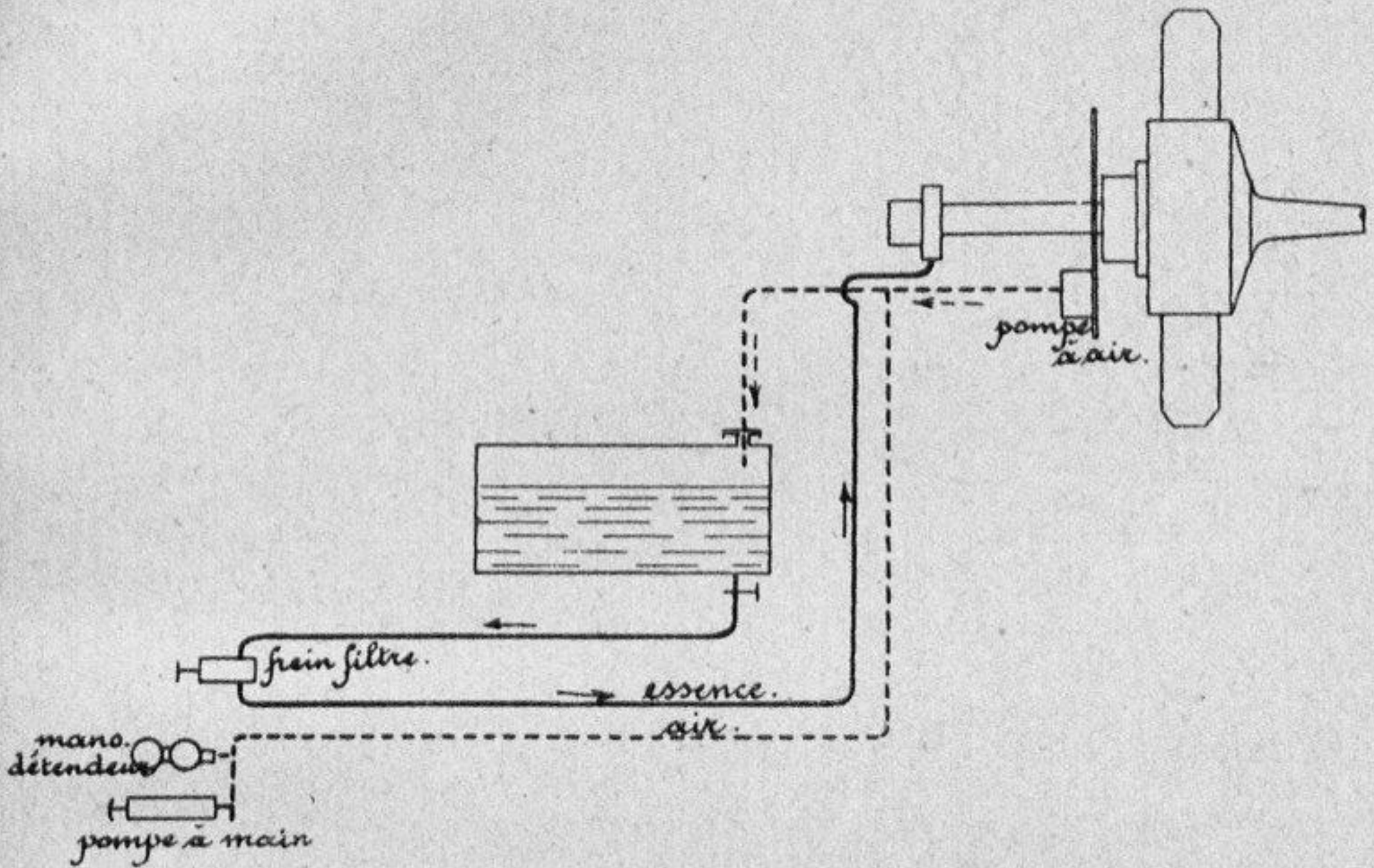


Fig. 94. — Alimentation par réservoir sous pression.

Pour les appareils à grand rayon d'action, l'adjonction d'un *réservoir supplémentaire* s'impose (fig. 95). Son rôle est d'alimenter la nourrice au fur et à mesure de son débit.

Le passage de l'essence d'un réservoir à l'autre se fait de plusieurs façons :

1° Par une *pompe à essence* entraînée par le moteur et noyée dans le fond du réservoir arrière.

2° Par une *pompe à air*. — L'air, comprimé au-dessus de l'essence, expulse celle-ci à la nourrice. La commande de la pompe à air se fait, soit au moteur,

soit à la main, soit par une petite hélice réceptrice placée à l'avant de l'appareil.

L'emploi de la pompe à air nécessite un réservoir étanche, tandis qu'avec la pompe à essence le réservoir est à la pression atmosphérique, supprimant ainsi toute

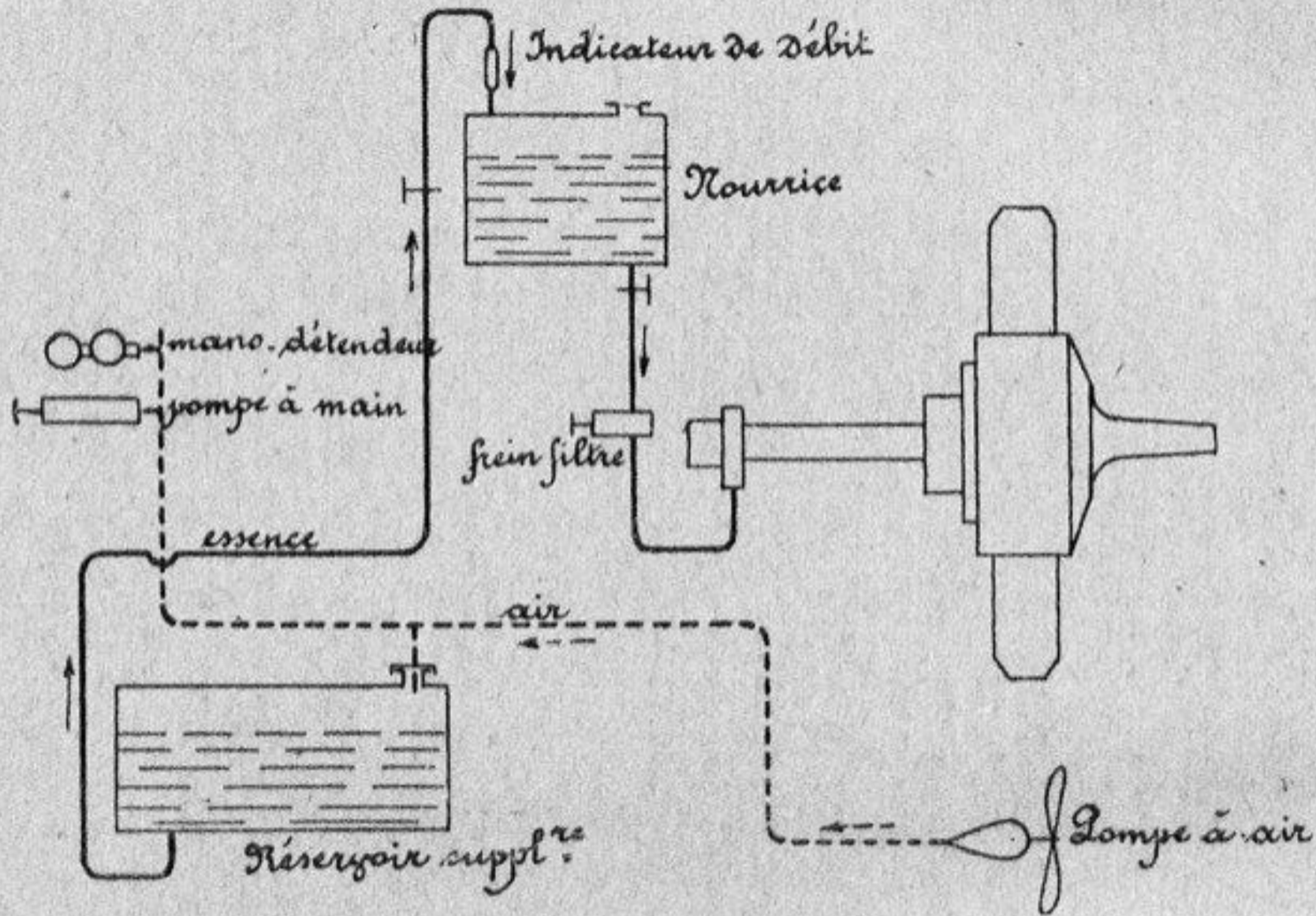


Fig. 95. — Alimentation par nourrice et réservoir supplémentaire.

fuite provenant de la pression d'air, et éliminant toute cause d'éclatement et d'incendie.

L'essence circule dans une tuyauterie métallique. Comme elle est soumise aux vibrations, les soudures devront être évitées autant que possible. Pour donner de la souplesse à la tuyauterie, on emploie des raccords de durit, mais ils ont l'inconvénient de provoquer à la longue l'obstruction de la conduite, à la suite de la désagrégation du caoutchouc. Le raccord blocktube (fig. 96) remédie à cet inconvénient par l'interposition d'une olive entre les bouts des tubes à raccorder.

L'essence devra être débarrassée de ses impuretés par filtrage. La figure 55 nous donne le croquis du

frein-filtre blocktube qui doit être placé au point le plus bas de la canalisation.

Des robinets sont installés pour isoler les réservoirs du moteur.

On peut adjoindre, sur la tuyauterie, un indicateur d'alimentation de la nourrice qui sera constitué par



Fig. 96. — Raccord souple Blocktube.

l'interposition d'un tube de verre sur un crochet de la tuyauterie, placé sous les yeux du pilote.

La chambre du gicleur sera percée, au fond, d'un trou permettant l'évacuation de l'excès d'essence à l'extérieur, au moment de la mise en marche du moteur, pour éviter les incendies.

Signalons qu'au passage à travers les tôles, les tubes finissent par se cisailer du fait des vibrations, si on n'a pas le soin de les guider pour éviter tout frottement métallique.

Canalisation d'huile.

L'huile de graissage est contenue dans un réservoir en charge sur la pompe. Souvent ce réservoir fait corps avec la nourrice, parfois il constitue un réservoir indépendant, et certains constructeurs le placent immédiatement derrière le moteur, afin de réchauffer l'huile. Le réservoir porte à sa partie inférieure un robinet à boisseau d'où part la tuyauterie de gros diamètre qui aboutit à la pompe.

Un niveau gradué est placé sur le réservoir. Parfois on le supprime, car la consommation d'huile est sensiblement proportionnelle à celle d'essence ; et les capacités des réservoirs sont établies proportionnellement aux consommations. Le niveau d'essence suffit alors à renseigner à la fois sur la quantité disponible des deux liquides.

L'huile est expulsée de la pompe aux tubes collecteurs de graissage à travers une tuyauterie de petit diamètre, avec embranchement à la cloche à huile bien en vue du pilote.

Avant la mise en marche du moteur, il sera nécessaire d'amorcer la pompe et la tuyauterie, si elle est d'un grand développement, afin que le graissage fonctionne immédiatement.

Précaution à prendre pour les réservoirs.

Les réservoirs en charge constituent des récipients clos, pour éviter les fuites par les orifices ménagés à leur partie supérieure, dans les diverses positions qu'est susceptible de prendre un appareil. Les trous de remplissage sont fermés par des bouchons généralement vissés et munis de joints en cuir.

S'il n'existe aucune entrée d'air, au fur et à mesure du débit d'essence ou d'huile le niveau baisse dans le réservoir et crée une dépression au-dessus du liquide, qui diminue d'autant la charge au gicleur ou à la pompe à huile. Cette dépression augmentant graduellement, il arrive que l'essence arrive au gicleur d'abord difficilement, puis par saccades et enfin plus du tout, de même la pompe à huile ne se remplit plus et finit par ne pomper que de l'air dans la tuyauterie de graissage.

Il est donc indispensable de percer les bouchons des réservoirs d'un trou de rentrée d'air de quelques millimètres de diamètre pour parer à ces graves inconvénients et afin que l'écoulement des liquides ne soit pas gêné.

Commandes.

Les commandes doivent être établies en tenant compte des observations suivantes :

1° *Être d'un fonctionnement sûr.* — Leur dérèglement entrave, empêche parfois la marche du moteur et l'appareil subit fatalement la panne.

2° *Être à portée du pilote.* — Afin que celui-ci les manœuvre sans difficulté et sans gêner ses mouvements réflexes.

3° *Être réglables* pour limiter les courses.

Allumage. — Le pilote a sous la main deux interrupteurs de courant, ou *contacts*, pour supprimer l'allumage à un moment quelconque. Un de ces interrupteurs est placé sur le manche à balai, l'autre à portée de la main.

Essence. — Pour la canalisation d'essence, il y a deux manettes, en général : une pour la commande de l'admission des gaz, l'autre pour le dosage d'essence.

Ces commandes peuvent être *souples* ou *rigides*. Les commandes souples sont sujettes plus facilement à un dérèglement et nécessitent l'emploi de ressorts de rappel. En cas de rupture de la commande, le ressort doit agir de façon à ouvrir en grand la canalisation. Les commandes rigides, étant réversibles, sont préférables.

Tachymètre. — Le tachymètre donne la vitesse instantanée du moteur. Il constitue un appareil précieux ;

mais, malheureusement, il est sujet à des dérèglages fréquents et à des arrêts de fonctionnement, son mécanisme étant très délicat.

Il sera bon que le pilote se méfie de ses indications et que le tachymètre ne soit pour lui qu'un contrôle de son oreille, exercée au bruit du moteur suivant sa vitesse.

CHAPITRE X

ESSAIS. — CONDUITE. — ENTRETIEN

Essais

Après la fabrication, le montage et le réglage, le moteur passe aux essais, avant la livraison, et subit les épreuves imposées par les cahiers des charges qui consistent en essais de puissance et de consommation.

ESSAIS DE PUISSANCE. — Ces essais s'effectuent à l'hélice ou au moulinet Renard : ce dernier procédé est le plus employé car il permet de connaître à chaque instant la puissance du moteur, connaissant son nombre de tours et l'abaque du moulinet.

On cherchera à faire rendre la maximum de puissance par le réglage du moteur et le réglage de la carburation. Quand le moteur est au point, on procède généralement :

1° *Au rodage* en le faisant tourner une demi-heure au ralenti et quelques minutes à pleine charge.

2° *A un essai de quatre heures* à pleine puissance en relevant la puissance au bout de chaque heure. Cet essai terminé, on opère le démontage du moteur et la vérification générale des organes pour se rendre compte de la manière dont ils se comportent et s'ils satisfont aux conditions exigées.

3° *A un essai de vingt minutes* après remontage du moteur, suivi de l'étude des reprises.

Ces épreuves ont lieu au banc d'essai en éliminant autant que possible les causes d'erreur telles que le vent, la proximité d'une muraille, etc..., et au besoin en enfermant le moteur dans un escargot, pour un meilleur refroidissement.

La vitesse de rotation est mesurée au compte-tours ou au nombre de pulsations, comptées à la pompe à huile, qui indique à une constante près k , connue, le nombre de tours du moteur. Le tachymètre ne sera utilisé que pour apprécier les changements de régime et non pour une mesure précise de la vitesse.

Le moulinet dynamométrique Renard absorbe le travail développé par le moteur par la résistance de l'air. Il est formé d'une barre rectangulaire en frêne portant boulonnées, à égale distance de l'axe, deux plaques en aluminium. Le montage sur le nez du moteur se fait par moyeu d'hélice.

La barre est percée de trous à intervalles égaux afin de pouvoir modifier l'écartement des deux plans qui doivent être montés symétriquement par rapport à l'axe. Suivant la puissance à absorber, on arrête le choix des trous et la grandeur des plans.

Si M est le moment moteur,
 δ le poids du mètre cube d'air,
 n le nombre de tours-minute.

On a :

$$M = k_m \cdot \delta \cdot n^2.$$

où k_m est le coefficient de moment. La puissance P est égale à :

$$\begin{aligned} P = M\omega &= k_m \cdot \delta \cdot n^2 \cdot \frac{\pi n}{30} \\ &= \frac{\pi k_m}{30} \cdot \delta \cdot n^3. \end{aligned}$$

En posant : $\frac{\pi k_m}{30} = k_p =$ coefficient de puissance,

on a : $P = k_p \cdot \delta \cdot n^3.$

Ce qui démontre que, connaissant k_p et δ , l'expérience se résume à une mesure de la vitesse de rotation.

Le moulinet est taré à la balance dynamométrique qui donne la valeur de k_p indépendante de la vitesse.

Il existe une série de moulinets définis par le *module*, ou écartement en centimètres de deux trous, soit e . Les caractéristiques d'un moulinet sont :

Longueur de la barre	$24 e$
Épaisseur — —	e
Hauteur du profil de la barre.	$2 e$
Plan {	côté. $\frac{60}{41} e$
	épaisseur. $\frac{4}{55} e$
Diamètre des boulons	$\frac{10}{55} e$
— de l'arbre	$\frac{40}{55} e$

Chaque moulinet a une abaque qui donne immédiatement la puissance absorbée, connaissant le nombre de tours, la grandeur et l'écartement des plans, ainsi que la densité de l'air.

ESSAIS DE CONSOMMATION. — Les essais de consommation se font simultanément à ceux de puissance. Combustible et lubrifiant sont contenus dans des réservoirs jaugés qui donnent à chaque instant la consommation du moteur. Celle d'essence est très variable, suivant le réglage de la carburation, et l'essai de consommation aura lieu en choisissant la carburation donnant le meilleur rendement du moteur.

La consommation d'huile est constante avec une

pompe à débit invariable. Dans le cas d'un débit variable, le réglage aura lieu pour donner le graissage nécessaire et suffisant, propre au bon fonctionnement du moteur.

Conduite.

Le moteur étant l'organe essentiel de l'appareil aérien, il importe qu'il soit conduit avec grand soin, afin de lui éviter des fatigues exagérées et de pouvoir compter d'une façon à peu près certaine sur son fonctionnement.

Il est nécessaire pour cela que le pilote connaisse et « sente » son moteur, c'est-à-dire qu'il se rende un compte exact des conditions de fonctionnement. L'éducation de l'oreille au son sera d'une grande importance et le bruit de la rotation renseignera de suite sur la puissance donnée par le moteur, sur la provenance et l'importance des perturbations qui peuvent survenir.

MISE EN MARCHÉ. — Le lancement du groupe motopropulseur a lieu en vainquant l'inertie de la masse au moyen d'une première explosion déterminée par un moyen quelconque. On commence à injecter une petite quantité d'essence dans les cylindres et le lancement se fait par plusieurs procédés :

1° *A la main.* — Ce procédé est le plus couramment employé, mais il est assez dangereux et nécessite beaucoup de prudence de la part de l'opérateur. S'il est pratique pour les petites puissances, il devient très pénible dès que le moteur dépasse 100 HP.

2° *A la manivelle,* par l'intermédiaire d'une démultiplication prise sur un pignon monté à l'arrière du carter et qui se débraye automatiquement, après la mise

en marche ou en cas de retour. Ce procédé, simple et sans danger, ne peut être adopté que lorsqu'on dispose d'un espace suffisant dans la nacelle.

3° *A la magnéto de départ*, comme il a été indiqué au chapitre sur l'allumage.

CONDUITE EN VOL. — Faisons d'abord quelques remarques :

1° Le recul d'une hélice est beaucoup plus grand au point fixe qu'en vol. D'où accroissement en vol de la vitesse de rotation du moteur qui peut atteindre de 50 à 300 tours, suivant le genre d'hélice.

2° La carburation change avec la pression atmosphérique, donc avec l'altitude, comme il a été signalé au chapitre sur la carburation. Pour une section de passage d'air et une dépression au-dessus du gicleur données, la vitesse de l'air dans le canal d'admission est constante, quelle que soit l'altitude. La quantité d'essence aspirée, qui ne dépend que de cette vitesse, est la même. Mais l'air aspiré a une densité proportionnelle à la pression atmosphérique. On conçoit donc que, toutes choses égales d'ailleurs, on aura un excès d'essence en altitude.

Il sera donc nécessaire d'agir dans le sens d'une diminution d'essence en manœuvrant la manette de commande du robinet freinant l'essence dans la tuyauterie d'amenée.

3° En réglant ainsi la carburation on constate que, en s'élevant, le moteur conserve sensiblement son régime. On serait donc tenté de croire qu'il conserve aussi sa puissance, ce qui serait contraire aux calculs qui nous ont permis d'établir la courbe (fig. 51). Il n'en est rien et si le régime se maintient, c'est que :

a) L'hélice subit de la part de l'air, en quelque sorte raréfié, un freinage moindre.

b) La cylindrée du moteur est imparfaite en ce sens que le cycle s'accomplit à des pressions moins élevées et que toutes les ordonnées du diagramme sont réduites dans une certaine proportion.

Il y aura intérêt à adopter pour la marche normale un régime du moteur qui ne corresponde pas au maximum de puissance, de façon à conserver un excès d'énergie en réserve qui pourra être utilisé dans les moments difficiles.

Le point le plus important réside dans le réglage de la carburation. Le pilote conduira son moteur au minimum d'essence, d'où les avantages :

1° Maximum de rendement et dépense minimum de combustible, d'où augmentation du rayon d'action.

2° Encrassement minimum et bonne conservation du moteur.

3° Pas d'échauffement anormal provenant d'excès d'essence et fatigue moindre des organes.

Entretien.

L'entretien du moteur exige des soins aussi minutieux que la conduite et pour les mêmes raisons. En dehors de l'entretien courant, de la vérification générale, il est nécessaire de procéder, après chaque vol, à diverses opérations :

Le pétrolage s'impose afin de dissoudre les crasses formées pendant le fonctionnement ; il consiste à injecter du pétrole dans les cylindres quand le moteur n'est pas complètement refroidi. S'il était trop chaud, on risquerait de voiler les soupapes ; trop froid, les crasses

seraient déposées et durcies et le pétrolage ne serait plus d'aucun effet.

L'extérieur des cylindres et du carter sera maintenu en un parfait état de propreté pour que la transmission de chaleur à l'air ambiant se fasse dans de bonnes conditions.

La distribution sera souvent vérifiée pour se rendre compte de l'usure et des variations de réglage, ainsi que l'état des soupapes et ressorts.

L'allumage sera surveillé dans tout son circuit et entretenu d'après l'exposé qui a été fait au chapitre sur les pannes.



TABLE DES MATIÈRES



	Pages.
PRÉFACE DU LIEUTENANT-COLONEL ROCHE	1
AVANT-PROPOS	III
CHAPITRE I. — Principes généraux	4
Comparaison avec le moteur fixe	4
Réalisation du cycle à quatre temps	3
Ordre d'allumage et nombre de cylindres	5
Étude des temps du cycle	7
Cas particulier du cycle à quatre temps	15
Tableau des réglages de divers moteurs	17
CHAPITRE II. — Étude cinématique	18
Vitesses et accélérations	18
La distribution : Cames multiples (calage, commande, tracé). Cane unique (Nombre de bossages, vitesse, tracé). Cames conjuguées	23
CHAPITRE III. — Étude dynamique	35
Forces d'inertie (piston, bielle, résultantes)	35
Forces dues à l'évolution de la masse gazeuse	37
Efforts sur la bielle	38
Pressions sur les parois des cylindres	39
Irrégularité cyclique	39
Efforts que fait naître la rotation (couples de renversement, d'inertie, effets gyroscopiques)	41
Perte de puissance due à la rotation	45
Résistance à l'avancement	45
CHAPITRE IV. — L'allumage	47
Généralités	47
Réalisation du circuit électrique dans un rotatif	49

Vitesse de la magnéto.	51
Réglage de la magnéto.	51
Le double allumage.	52
Suppression de l'allumage pendant la marche	53
Mécanismes de ralenti par l'allumage	54
Les bougies d'allumage (qualités, position sur les cylindres).	60
Magnéto de départ	62
CHAPITRE V. — La carburation.	64
Principes.	64
Carburateur à injection directe	66
Variations de la carburation avec la pression atmosphérique	68
Réchauffage	71
Divers types de carburateurs	72
CHAPITRE VI. — Le graissage et le refroidissement.	77
Généralités	77
Trajet de l'huile.	78
Emploi de l'huile de ricin par temps froids	80
Les pompes à huile.	81
Le refroidissement par l'air	89
Causes et effets d'un mauvais refroidissement.	91
CHAPITRE VII. — Étude technologique.	94
Le carter	95
Le vilebrequin	96
Butée à billes	98
L'embigliamento	98
Le piston	103
L'obturation	106
Le cylindre.	108
Organes de commande des soupapes	112
Passage des gaz du carter aux cylindres	114
Les soupapes	116
CHAPITRE VIII. — Les pannes et les causes de mauvais fonctionnement	120
L'allumage	121
La carburation	127
Le réglage	128
Le graissage	129
Rupture d'organes	129

CHAPITRE IX. — Installation d'un moteur sur un appareil . . .	131
Modes d'installation (cage, porte à faux).	131
Canalisation d'essence.	132
Canalisation d'huile.	133
Précaution à prendre pour les réservoirs	136
Commandes	137
Tachymètre.	137
CHAPITRE X. — Essais. Conduite. Entretien.	139
<i>Essais</i> : de puissance, de consommation.	139
<i>Conduite</i> : Mise en marche. Conduite en vol.	142
<i>Entretien.</i>	144



En vente à la Librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs
47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, PARIS (VI^e)

Les moteurs à gaz. *Étude des projets, construction et conduite des moteurs à explosion.* par Herm. HAEDER, ingénieur civil, traduit par M. VARINOIS, ingénieur des arts et manufactures.

1^{er} volume. In-8° 18×23 de xvi-208 pages, avec 726 figures, 75 tableaux et nombreux exemples numériques 42 fr. 50

Modes de fonctionnement, types de construction. Puissance des moteurs. Dimensions principales. Influence des masses dans les principaux organes. Diagramme des efforts tangentiels. La bielle et la puissance des machines. Les différentes parties des moteurs. Pressions et températures. Arbres coudés. Graissage des tourillons de manivelles. Contrepoids. Résistance des arbres à manivelles. Tourillons des pistons. Règles pour les dimensions des pistons. Eau consommée par le refroidissement. Tiges de piston. Calcul des tiges de piston, des tourillons de manivelles, des volants. Variation de la forme des volants. Résistance des volants. Dimensions principales des moteurs à gaz et des machines à vapeur. Description d'une installation de gazogène par aspiration.

2^e volume. In-8° 18×23 de viii-248 pages, avec nombr. figures et tableaux, nombreux exemples numériques et un atlas de 100 pl. 47 fr. 50

Fonctionnement d'une distribution de moteur à gaz. Commande de la distribution des moteurs à gaz. Soupapes. Distribution des moteurs à combustion. Robinetterie à gaz. Allumage. Appareil de mise en marche. Régulateurs. Culasse de cylindre. Diagramme. Moteurs pour combustibles liquides. Grands moteurs à gaz. Installations de gazogènes. Notions de thermo-chimie. Questions.

Moteurs à combustion interne et gazogènes, par L. LETOMBE, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. In-4° 24×31 de 90 pages, avec 122 figures 6 fr. »

Moteurs à gaz. Gazogènes à gaz pauvre. Moteurs à combustibles liquides. Puissance et consommation de moteurs à combustion interne.

Le moteur, par H. PETIT, capitaine du génie, ancien élève de l'École polytechnique. 4^e édition, revue par F. CARLÈS. In-16 12×18 de iv-566 pages, avec 197 fig. Broché, 9 fr.; rel. souple vert et or. 14 fr. 50

Notions mécaniques. Moteurs d'automobiles. Cylindre. Piston. Bielle. Mono et polycylindres. Vilebrequin. Distribution. Soupapes et cames. Carburation et carburateurs. L'allumage. Le graissage. Le refroidissement. Régulation. Équilibre des moteurs à explosion. Puissance d'un moteur. Rendement. Souplesse des moteurs à explosions. Pannes. Moteurs sans soupapes. Moteurs légers. Moteurs singuliers.

Essais et réglage des moteurs, *moteurs à mélange tonnant utilisés pour la locomotion,* par G. LUMET, ingénieur des Arts et Manufactures. 2^e édit. In-8° 14×22 de 214 pages, avec fig. Nouveau tirage. 5 fr. 50

Fonctionnement d'un moteur. Appareils de mesure. Dynamomètres. Manographes. Indicateurs. Réglage. Essais des moteurs. Puissance, etc.

Les moteurs à deux temps, *moteurs à explosions destinés à l'automobilisme et à l'aviation,* par L. VENTOU-DUCLAUX, ingénieur au laboratoire d'essais de l'A. C. F. In-8° 14×22 de vi-130 pages, avec 44 figures. Nouveau tirage. 4 fr. 50

Considérations générales. Réalisation du moteur à deux temps. Dispositifs d'alimentation. Evacuation des gaz brûlés. Dispositifs de distribution. Dispositions spéciales. Liste des brevets concernant les moteurs à explosion à deux temps destinés à l'automobilisme et à l'aviation.

Le moteur à explosions, par R. DEVILLERS, diplômé de l'École supérieure d'Aéronautique. In-8° de viii-422 pages, avec 415 figures. Broché, 7 fr. 50; cartonné. 9 fr.

En vente à la Librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, PARIS (VI^e).

Étude dynamique des moteurs à cylindres rotatifs, par G.-D. MAYER, professeur à l'École polytechnique de Naples, traduit de l'italien par O. POMILIO, attaché au bataillon d'aviateurs italiens. In-8° 14 × 22 de XII-126 pages, avec 68 figures. 4 fr. 50

Moteurs à cylindre rotatif. Moteurs à cylindre rotatif isocèle. Moteurs à engrenages épicycloïdaux et moteurs en tore. Moteurs à guide. Comparaison entre les moteurs.

Traité pratique du moteur Gnôme, par André PREYNAT, ex-instructeur à l'Aérodrome militaire de Saint-Cyr-l'École. In-8° 14 × 22 de 56 pages, avec 38 fig. et 1 pl. Nouveau tirage. 2 fr. 50

Bâti. Cylindres. Vilebrequins. Flasques. Bielles. Pistons. Chape. Soupapes d'admission et d'échappement. Carburateur. Magnéto. Pompe à huile. Démontage et montage. Distribution et réglage du moteur. Pannes. Essence. Usure des pièces.

Cours d'aéronautique, professé à la Faculté des sciences de Paris, par L. MARCHIS, titulaire de la chaire d'aviation. 1^{re} partie : *Statique et dynamique des ballons. Résistance de l'air*. In-8° 20 × 26 de 460 pages autographiées, avec 121 figures 17 fr. 50

2^e partie : *Aérostation. Eloffes. Soupapes, filets de ballons. Aviation. Lois expérimentales. Résistance de l'air, expériences récentes de MM. G. EIFFEL et PRANDLT*. In-8° 20 × 26 de 265 p. autographiées, avec 80 figures. 12 fr.

3^e partie : *La dynamique expérimentale des fluides dans ses rapports avec l'aéronautique et l'hydronautique. Etudes expérimentales des hélices*. In-8° 20 × 26 de 283 pages autographiées, avec 111 fig. 12 fr.

Manuel de l'aviateur-constructeur, par M. CALDERARA, enseigne de vaisseau de la marine italienne, et P. BANET-RIVET, professeur agrégé de physique au lycée Michelet. 2^e édition. In-16 12 × 18 de 320 pages, avec 170 figures. Broché, 5 fr. ; cartonné 6 fr. 50

Théorie et pratique de l'aviation, par Victor TATIN, ingénieur. In-16 12 × 18 de VIII-320 pages, avec 74 figures. Broché, 6 fr. ; cartonné 7 fr. 50

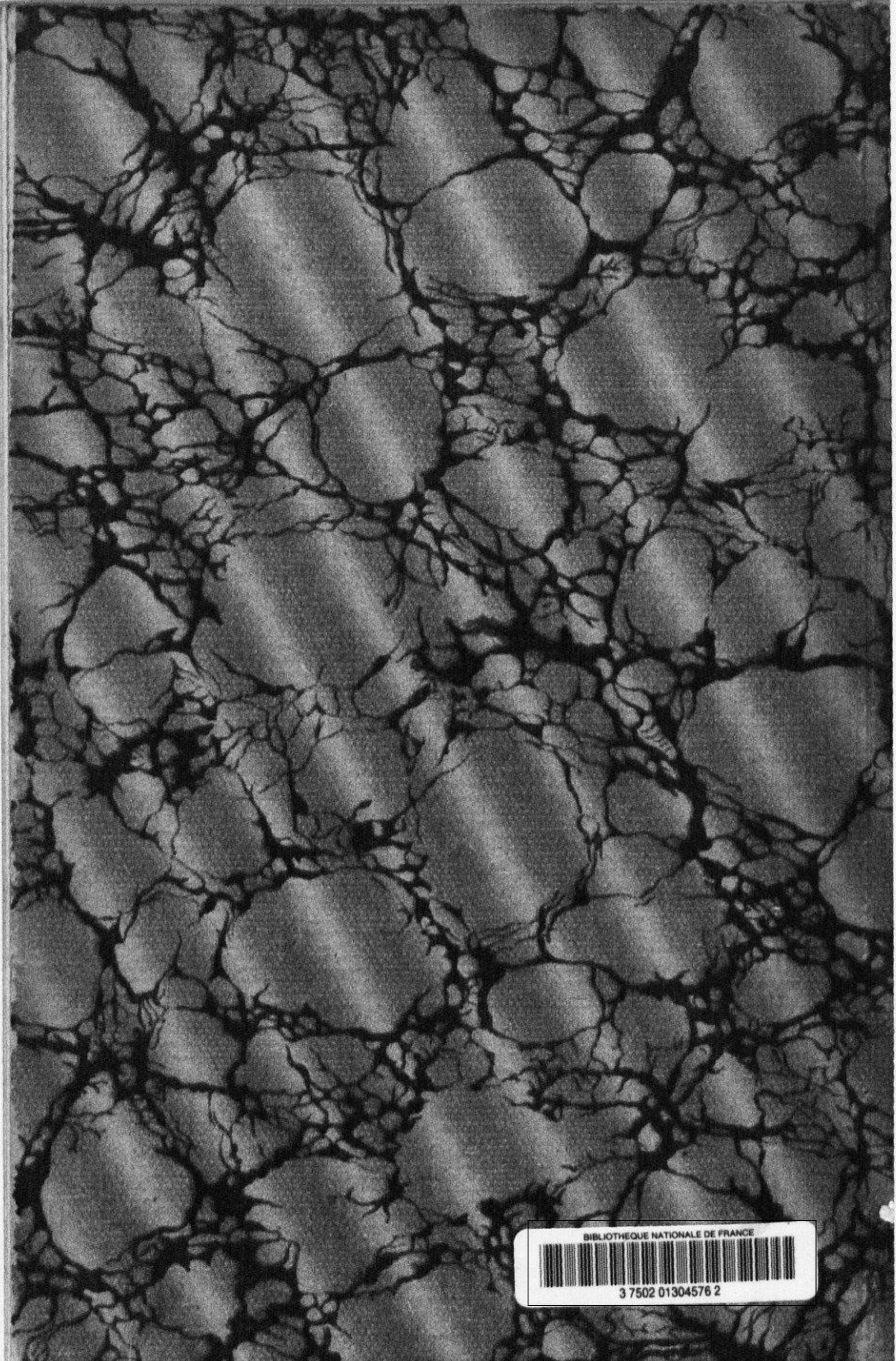
L'épopée aérienne, par L. MARCHIS, professeur au Collège de France. In-4° oblong 25 × 35 de 108 pages, avec 227 figures. Broché, 8 fr. ; cartonné 9 fr. 50

Le même album, avec 5 pl. démontables en couleurs. Broché, 28 fr. ; cartonné. 29 fr. 50

Les planches (monoplan Blériot XI ; biplan Voisin ; biplan Wright ; dirigeable Zeppelin, type rigide ; dirigeable Parseval, type souple) sont vendues séparément, chaque. 4 fr. 50

Majoration temporaire de 10 p. 100 sur les prix ci-dessus.

ÉVREUX, IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY



BIBLIOTHEQUE NATIONALE DE FRANCE



3 7502 01304576 2