

Titre : Cours d'automobiles. Livre I. Moteurs

Auteur : Ridet, H.

Mots-clés : Automobiles*Moteurs*Entretien et réparations

Description : 1 vol. (VI-303 p.) ; 25 cm

Adresse : Paris : Librairie de l'enseignement technique, 1919

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 De 478

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8DE478>

COURS
D'AUTOMOBILES
LIVRE I. — MOTEURS

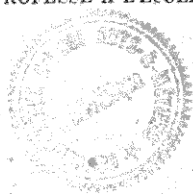
COULOMMIERS
Imprimerie PAUL BRODARD.

8° De. 478

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

COURS D'AUTOMOBILES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS, DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE



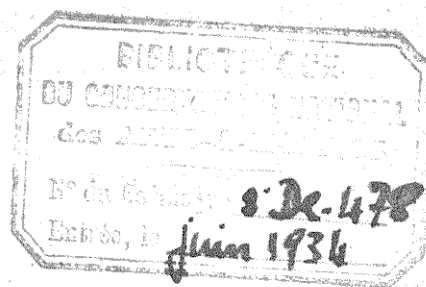
PAR

M. H. RIDET

Ancien élève de l'École Polytechnique
Ingénieur à la Société industrielle des Téléphones

LIVRE I. — MOTEURS

QUATRIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE



PARIS
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

3, Rue Thénard

1919

Tous droits réservés.

AVANT-PROPOS

La nouvelle édition du *Cours de voitures automobiles* comprend deux parties, l'une consacrée aux moteurs, l'autre à l'agencement mécanique des véhicules.

Les chapitres consacrés aux moteurs ne comportent, contrairement aux anciennes éditions, que l'étude des moteurs à explosion du type « automobile » ; l'importance prise depuis quelque temps par les moteurs fixes, autrefois étudiés dans le cours de « moteurs à explosion et voitures automobiles » nous a conduit à en faire l'objet d'un cours spécial.

Le *Cours de voitures automobiles* a été entièrement revu, considérablement augmenté et complètement mis à jour.

Il contient l'exposé des théories les plus récentes et les détails qui caractérisent les mécanismes les plus nouveaux.

Nos lecteurs y trouveront également la description des dispositifs plus anciens, mais qui se trouvent encore sur un très grand nombre de voitures actuellement en circulation.

Ce cours est donc indispensable à tous ceux de nos élèves qui veulent se livrer à l'étude spéciale de l'industrie automobile.

Mais, de plus, grâce à sa composition spécialement étudiée qui permet au lecteur de saisir rapidement l'essentiel des chapitres et de trouver facilement les paragraphes qui l'intéressent particulièrement, ce cours sera suivi avec le plus grand fruit par tous ceux qui ont simplement à utiliser les voitures automobiles ou à en surveiller l'emploi.

COURS D'AUTOMOBILES

LIVRE I. — MOTEURS

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES MOTEURS A EXPLOSION

1. GÉNÉRALITÉS. — Définition de la machine thermique. — Caractéristiques et fonctionnement du moteur à explosion.
2. CYCLES. — Définition. — Cycles divers.
3. ÉTABLISSEMENT DU MOTEUR A EXPLOSION. — Organes essentiels. — Organes accessoires. — Conditions que doit remplir le moteur à explosion d'automobile et les moteurs analogues.
4. DIVISION DU COURS.

1. — GÉNÉRALITÉS

1. Définition de la machine thermique. — Le moteur à explosion est une machine thermique.

On appelle machine thermique tout appareil qui produit du travail en utilisant de la chaleur.

La machine à vapeur est une machine thermique : elle utilise la chaleur fournie au foyer pour vaporiser l'eau et pour augmenter la pression de la vapeur ainsi produite.

L'appareil où se produit la chaleur, c'est-à-dire la chaudière, est distincte du moteur lui-même.

Au contraire, dans le moteur à explosion la chaleur utilisée prend naissance à l'intérieur même du moteur.

2. Caractéristiques du moteur à explosion. — Dans le moteur à explosion, l'apport de chaleur n'est pas continu. Il se produit à intervalles réguliers et pendant un temps extrêmement court. La chaleur est fournie par l'explosion (c'est-à-dire la combustion presque instantanée) d'un mélange en proportions convenables.

1° D'un corps combustible (essence...);

2° D'un corps comburant (oxygène de l'air).

Dans le moteur à vapeur, l'agent qui sert à la transformation de la chaleur (vapeur d'eau) peut servir indéfiniment.

Dans les moteurs à explosion le mélange explosif subit une transformation chimique du fait de l'explosion ou de la combustion. Il ne peut plus servir à nouveau.

Les moteurs à explosion peuvent être à combustibles gazeux, liquides ou même solides.

Le cours de voitures automobiles ne traite que des moteurs à combustible *liquide* employés dans l'automobile.

Ces moteurs sont caractérisés par ce fait qu'ils sont de *dimension et de poids réduits* et qu'ils sont susceptibles de tourner à une *grande vitesse*.

3. Principe du fonctionnement du moteur à explosion. — Un vase clos est rempli d'un mélange explosif formé, comme nous l'avons dit, d'air et d'un corps combustible tel que l'essence.

Ce vase a la forme d'un *cylindre* fermé à l'une de ses extrémités par une paroi fixe, à l'autre par une paroi mobile.

On provoque l'explosion du mélange (par exemple en l'enflammant en l'un de ses points). La combustion se propage en un temps très court dans toute la masse. Le dégagement considérable de chaleur qui se produit élève la température des gaz résultant de l'explosion. Ceux-ci acquièrent ainsi une certaine pression qui s'exerce sur toutes les parois du cylindre. Les parois qui sont maintenues fixes résistent, mais la paroi mobile, sous l'influence de cette pression, se déplace.

C'est le mouvement de cette paroi mobile, appelée *piston*, que l'on utilise.

4. Transformation du mouvement.

— Le mouvement du piston est rectiligne.

On le transforme en mouvement circulaire au moyen d'une *bielle* B et d'une *manivelle* M (fig. 1).

Cette manivelle fait tourner un *arbre* O qui porte un *volant* V.

Lorsque le piston atteint l'extrémité du cylindre, le volant continuant à tourner de lui-même ramène le piston à sa position première.

Les points *x* et *y* s'appellent points morts parce que l'impulsion communiquée à la manivelle y est nulle.

Les positions correspondantes du piston s'appellent aussi points morts. Dans les moteurs verticaux (de beaucoup les plus employés en automobile) les points morts s'appellent : haut en *x*, bas en *y*.

Si le moteur était horizontal, les points morts, haut et bas, deviendraient les points morts avant et arrière.

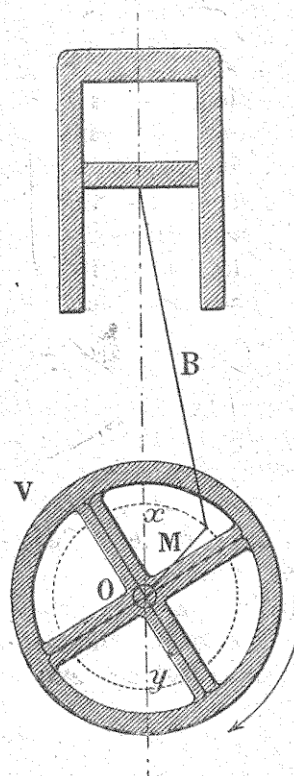


Fig. 1.

2. — CYCLES

5. Définition. — Tel est le moteur réduit à sa plus simple expression.

En pratique, les opérations sont plus compliquées : il faut assurer l'alimentation du moteur, provoquer l'explosion, évacuer les gaz brûlés.

L'ensemble de ces opérations constitue un « cycle » et les cycles

se reproduisent périodiquement pendant la marche continue du moteur.

Le « cycle » des premiers moteurs à explosion ne comprenait que les trois opérations indiquées ci-dessus, ce cycle est dit « sans compression ».

Tous les moteurs à explosion actuels comportent une compression du mélange gazeux avant sa combustion. Leur cycle est dit : « avec compression » ; il en existe deux variantes :

Lorsque les opérations constituant le cycle se font complètement lorsque le volant tourne d'un tour, le cycle est dit *à deux temps*.

Lorsque le volant tourne de deux tours pendant que le cycle s'accomplit intégralement, le cycle est dit *à quatre temps*.

6. Cycle sans compression. — Considérons le moteur vertical réduit à ses éléments essentiels (fig. 1).

Supposons le piston au bout de sa course vers le fond du cylindre.

Par une action extérieure, agissons sur le bouton de manivelle dans le sens de la flèche. Le piston descend en faisant le vide derrière lui.

Mais si, au moment où le mouvement commence, nous établissons une communication entre le cylindre et le récipient qui contient le mélange explosif, celui-ci va se trouver aspiré dans le cylindre.

Lorsque le piston a parcouru une partie de sa course descendante, fermons la communication et produisons aussitôt après, l'allumage du mélange. L'explosion est ainsi déterminée et, sous l'influence de la pression qui en résulte, le piston est chassé jusqu'à l'extrémité de sa course (point mort bas).

Cette course motrice fait tourner le bouton de la manivelle d'une fraction de cercle et, par l'effet du volant, le piston, passant le point mort bas, est ramené vers sa position supérieure.

Dès que ce mouvement vers le haut commence, établissons une communication entre le cylindre et l'atmosphère, le piston en remontant chassera devant lui les gaz brûlés. Le cycle est terminé dès que le piston repasse au point mort haut et les mêmes opérations peuvent se reproduire.

En résumé, ce cycle comprend :

1 ^{re} Course descendante du piston.	{ Admission du mélange explosif.
	{ Explosion.
2 ^{de} Course ascendante	{ Détente des gaz résultant de l'explosion.
	{ Échappement.

7. Cycles avec compression. — Les moteurs sans compression ne furent jamais employés dans l'automobile et l'on ne construit plus actuellement de moteurs *fixes* de ce type.

Dans les moteurs modernes, le mélange détonant subit avant l'allumage une compression. Cette compression est produite dans le cylindre par le mouvement du piston, comme il est expliqué ci-dessous.

8. Avantages de la compression. — Les premiers moteurs à explosion fonctionnaient sans compression. Leur *consommation était telle* qu'ils ne seraient jamais entrés dans la pratique. C'est grâce à la compression du mélange avant l'explosion que l'on a pu réaliser des moteurs donnant une puissance appréciable avec une consommation réduite.

En effet, la théorie montre et l'expérience a confirmé que dans un même moteur, plus la compression est forte, plus la puissance développée est considérable.

On est donc conduit à construire des moteurs à forte compression et, en fait, on n'est limité dans cette voie que par des considérations pratiques : désir d'éviter une fatigue trop considérable à certaines pièces du moteur; désir d'éviter le bruit que peuvent faire des explosions trop violentes et enfin, considération fondamentale : crainte de provoquer des allumages anticipés par suite de l'*échauffement* produit dans le mélange par une compression trop importante.

Nous avons dit que les moteurs utilisant la compression pouvaient être à quatre ou à deux temps.

9. Moteurs à quatre temps. — Ces moteurs sont de beaucoup les plus répandus dans l'automobile. Ils ont le grand avantage d'être simples. Ils fonctionnent de la manière suivante :

1^{er} temps. — Au moment où le piston quitte le point mort haut, une communication s'établit avec le récipient où se forme le mélange, celui-ci est aspiré jusqu'à ce que le piston atteigne le point mort bas; ce temps est appelé : *admission* ou *aspiration*.

2° *temps*. — A ce moment la communication précédente cesse, le piston revient sur lui-même en comprimant les gaz admis dans la course précédente; c'est la *compression*.

Lorsqu'elle est terminée, le mélange n'occupe plus que la partie du cylindre comprise entre le piston placé au point mort haut et le fond. Cette partie est appelée *espace mort* ou *chambre d'explosion*, ou mieux *chambre de compression*.

3° *temps*. — A ce moment, l'allumage se produit, la pression monte à l'intérieur du cylindre et le piston obéissant à cette pression se déplace jusqu'à son point mort bas. Ce temps est le seul temps moteur du cycle.

Il faut remarquer que pendant ce troisième temps, les gaz agissent :

1° Par leur pression au moment de l'explosion;

2° Par la pression décroissante qu'ils exercent tandis qu'ils se détendent, c'est-à-dire pendant toute la course du piston.

Le troisième temps est appelé *détente* ou *explosion*.

4° *temps*. — Le piston revient vers le fond du cylindre en chassant devant lui les gaz brûlés qui s'échappent dans l'atmosphère par une ouverture spéciale. C'est l'*échappement*.

L'admission se produit dès que le piston a dépassé son point mort haut et un nouveau cycle commence.

En résumé, ce cycle comprend :

Course descendante	Admission.
— ascendante	Compression.
— descendante	{ Explosion. Détente.
— ascendante	
	Échappement.

Remarquons que le travail nécessaire à la compression est emprunté au moteur lui-même mais ce n'est pas du travail perdu. Supposons en effet que l'explosion ne se produise pas, les gaz comprimés pousseront le piston à partir du moment où celui-ci aura passé ce point mort et rendront ainsi le travail absorbé par la compression.

10. *Moteurs à deux temps*. — Le moteur à deux temps présente à première vue un avantage sur le moteur à quatre temps : il donne une course motrice par tour. Il devrait donc être d'un emploi beau-

coup plus avantageux puisque à vitesse égale le cylindre produit dans le même temps deux fois plus de travail que dans le moteur à quatre temps.

Malheureusement, si l'on construit actuellement quelques types de moteurs *fixes* à deux temps qui semblent donner satisfaction dans certains cas, l'emploi du moteur à deux temps dans l'automobile n'a pas été sanctionné par la pratique.

11. Fonctionnement du moteur à deux temps. — Le mécanisme en est le suivant :

Supposons le mélange comprimé dans la chambre de compression. Les orifices d'admission et d'échappement sont clos et le piston est au point mort haut. Le mélange est alors enflammé et le piston, chassé vers le bas, accomplit une course motrice analogue à celle du temps trois des moteurs à quatre temps :

Au moment où le piston passe au point mort bas, l'orifice d'échappement s'ouvre *ainsi que l'orifice d'admission*. Le mélange frais *refoulé par un dispositif auxiliaire*, pénètre dans le cylindre et, théoriquement⁽¹⁾, chasse devant lui les gaz brûlés résultant de l'explosion précédente. L'échappement et l'admission se produisent ainsi en un moment très court et lorsque le piston, revenant vers le point mort haut, a quelque peu dépassé l'autre point mort, les orifices se ferment et la compression commence.

Ce cycle comprend donc :

Course descendante . . .	{	Explosion.
		Détente.
Course ascendante. . . .	{	Commencement de l'échappement.
		Fin de l'échappement.
		Admission.
	{	Compression.

3. — ÉTABLISSEMENT DU MOTEUR A EXPLOSION

12. Organes essentiels et accessoires constituant le moteur à explosion. — Le moteur à explosion doit comprendre les organes suivants :

(1) Pratiquement, il reste dans le cylindre un peu de gaz brûlés.

Cylindre, piston, bielle et manivelle, dispositifs de distribution des gaz (admission et échappement) et d'allumage.

Nous en avons vu l'utilité.

Mais, de plus, le moteur ne pourrait fonctionner sans un certain nombre de dispositifs dont l'ensemble forme avec les organes précédents un tout complet.

La disposition, le fonctionnement de ces organes doivent être étudiés en vue de leur participation essentielle au travail que l'on demande au moteur. Ils ne sont pas indépendants, ils sont intimement liés au moteur.

Nous allons les examiner successivement.

13. Volant. — Le moteur à explosion doit posséder, comme toute machine produisant un mouvement circulaire, un volant destiné à produire l'entraînement de l'arbre au moment où le piston passant par l'un des points morts, toute action cesse sur le bouton de manivelle.

Remarquons que le moteur à quatre temps doit posséder un volant très lourd, car ce volant doit emmagasiner l'énergie nécessaire non seulement pour éviter les ralentissements aux points morts, mais encore pour assurer l'entraînement du piston pendant les courses d'aspiration, d'échappement et de compression. Pendant cette dernière, le piston doit vaincre des forces d'autant plus considérables que la compression que l'on veut obtenir est élevée. Le travail ainsi dépensé se retrouve dans la course de détente, mais il faut cependant le fournir au moment voulu.

Nous verrons d'ailleurs que l'on réduit le poids du volant en employant des moteurs composés de plusieurs cylindres dont les pistons agissent sur le même arbre et dont les courses motrices se succèdent.

14. Graissage. — Afin de diminuer les frottements qui absorbent une partie du travail fourni par le moteur, on graisse toutes les parties qui frottent les unes sur les autres. Ce graissage doit être aussi parfait que possible. Il nécessite un dispositif spécial.

15. Carburation. — Le mélange admis au moteur doit contenir des proportions exactes d'air et de combustible. L'appareil qui prépare et dose ce mélange est appelé « carburateur ».

16. Refroidissement. — Dès que l'explosion se produit, la température à l'intérieur du cylindre monte considérablement. Elle atteint facilement $1\,800^{\circ}$.

Les parties du moteur soumises à cette température (cylindre, piston, organes d'admission et d'échappement) s'échauffent à tel point que le moteur serait rapidement inutilisable si l'on ne prenait la précaution de refroidir les pièces les plus exposées à la chaleur dégagée par l'explosion.

Sans cette précaution, les différences de dilatation entre le cylindre et le piston détermineraient des fuites, soit lors de la compression, soit lors de l'échappement, l'échauffement excessif des organes de distribution les empêcherait de fonctionner avec précision et l'huile de graissage qui lubrifie les parois en contact du cylindre et du piston serait rapidement brûlée.

Tous les moteurs à explosion comportent donc un dispositif de refroidissement.

17. Équilibrage. — En raison tant de la discontinuité des efforts moteurs que de la présence des liaisons (bielle et piston, bielle et manivelle), le moteur à explosion est soumis, comme nous le verrons au § 146, à des trépidations qui pourraient devenir nuisibles. Il faut donc que le moteur soit construit de manière à les faire disparaître ou tout au moins les atténuer. On y arrive par une disposition spéciale des organes mobiles du moteur. C'est ce qu'on appelle l'équilibrage.

18. Régulation. — Enfin, le moteur doit pouvoir être conduit de telle manière que l'effort qu'il fournit soit proportionné aux résistances qu'il doit vaincre.

Le dispositif de régulation empêche sa vitesse de devenir nulle, ce qui nécessiterait une nouvelle mise en route, ou, au contraire, dangereuse.

19. Mise en route. — Le moteur à explosion ne peut se mettre en route de lui-même. Il est nécessaire qu'une action extérieure produise le déplacement du piston jusqu'à ce que la première explosion se produise. — Un appareil doit être prévu pour produire ce déplacement initial.

20. Conditions que doit remplir un moteur à explosion. — Au début de l'automobile, on n'était pas exigeant sur le chapitre des moteurs. — On leur demandait tout simplement d'entraîner le véhicule.

Rendre la panne aussi rare que possible, semblait le maximum de ce qu'on pouvait demander au constructeur d'un moteur d'automobiles.

Les premiers moteurs étaient donc construits à peu près comme des moteurs fixes.

De nos jours, la panne n'existe pour ainsi dire plus et l'on demande au moteur de satisfaire à d'autres conditions dont les principales sont :

- 1° Son action doit être régulière;
- 2° Il doit avoir une puissance suffisante pour faire prendre à la voiture une très bonne vitesse moyenne et par conséquent pour lui faire monter les côtes à bonne allure;
- 3° Il doit être aussi léger que possible;
- 4° Il doit consommer le moins possible;
- 5° Il doit être bien équilibré;
- 6° Il doit être indéréglable et son fonctionnement doit être sûr;
- 7° Il doit être silencieux;
- 8° Il doit être robuste et durer un temps raisonnable;
- 9° Il doit être souple.

On entend par moteur souple un moteur capable de développer des puissances ⁽¹⁾ très variables au gré du conducteur, le passage d'un régime à un autre se faisant dans le minimum de temps et l'action du moteur ne cessant pas d'être régulière.

4. — DIVISION DU COURS

21. — Nous étudierons, dans les différents chapitres du livre « Moteurs », les dispositifs employés pour réaliser les conditions précédentes. Dans les deux chapitres qui vont suivre nous ferons l'étude théorique du moteur et nous rechercherons les bases sur lesquelles il doit être établi. Le chapitre II sera consacré à la notion de puissance et à la mesure de la puissance : études indis-

(1) Voir chapitre II.

pensables, car c'est en mesurant la puissance d'un moteur qu'on se rend compte de l'influence que peut avoir sur lui telle ou telle modification apportée dans sa construction. Dans le chapitre III nous rechercherons les moyens d'augmenter cette puissance, à consommation égale et dans le chapitre IV nous déterminerons à l'aide des résultats trouvés dans les pages précédentes, les données générales sur lesquelles doit être établi un moteur d'automobile pour satisfaire aux conditions posées. Notons, nous y reviendrons par la suite, que certaines de ces conditions sont contradictoires, en ce sens que la réalisation complète de l'une d'elles ne peut se faire qu'aux dépens d'une autre. Il faut donc se contenter de solutions approchées voisines d'ailleurs de la solution idéale et que les progrès réalisés en métallurgie, dans les industries électriques, etc., améliorent de jour en jour.

Enfin, les sept chapitres restants seront consacrés à l'établissement pratique du moteur. Nous y trouverons les dispositifs adoptés par les différents constructeurs pour se rapprocher le plus possible du moteur type. Nous verrons ainsi successivement :

- Au chapitre V : le gros œuvre du moteur le plus courant (moteur à quatre temps à soupapes), et l'équilibrage des organes en mouvement;
- VI : les moteurs sans soupapes et à deux temps;
 - VII : la carburation;
 - VIII : l'allumage;
 - IX : le refroidissement et l'échappement;
 - X : le graissage;
 - XI : la régulation.

CHAPITRE II

PUISSANCE D'UN MOTEUR

1. RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE MÉCANIQUE. — Grandeurs. — Unités. — Force. — Travail. Puissance. — Comparaison de deux moteurs. — Travail indiqué. — Travail effectif.
2. MESURE DE LA PUISSANCE EFFECTIVE. — Couple moteur. — Frein de Prony. — Dynamo-Dynamomètre. — Moulinet de Rehard. — Tachymètre.
3. MESURE DE LA PUISSANCE INDIQUÉE. — Diagrammes et calcul du travail. — Pression moyenne. — Indicateurs. — Manographe.
4. FORMULES EMPÍRIQUES DE DÉTERMINATION DE LA PUISSANCE.

1. — RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS DE MÉCANIQUE

22. Grandeurs. — Unités. — Il est indispensable au moment de commencer l'étude détaillée du moteur, de définir ce que l'on appelle la « puissance » d'un moteur et de savoir comment on peut la mesurer.

Lorsque l'on veut comparer deux moteurs, on commence par comparer leur *puissance* normale, c'est-à-dire comme nous le verrons, le nombre de chevaux-vapeur ou, par abréviation, de *chevaux* qu'ils développent. De même un constructeur se rend compte de l'influence d'une modification apportée dans la construction, en mesurant la puissance du moteur avant et après cette modification. S'il y a gain de chevaux, la modification peut en général être acceptée, mais s'il y a perte appréciable elle sera rejetée, alors même qu'elle présenterait par ailleurs des avantages (prix de revient moins élevé, facilité de montage, etc.).

La *puissance* se définit à l'aide des notions fondamentales de la mécanique, que nous allons rappeler :

En mécanique, on considère un certain nombre de *grandeurs*, c'est-à-dire de quantités qui peuvent se mesurer.

Toutes les grandeurs se mesurent à l'aide d'une grandeur de même nature que l'on prend comme *unité*.

On peut choisir arbitrairement cette unité. C'est ainsi que pour mesurer une longueur, on peut prendre comme unité, le *mètre* ou le *millimètre*.

Par exemple la tour Eiffel a 300 *mètres* ou 300 000 *millimètres*.

Le choix de l'unité dépend de ce que l'on veut mesurer; on emploiera le *mètre* si l'on veut mesurer la longueur d'un châssis et le *millimètre* si l'on veut exprimer les dimensions d'une petite pièce du moteur.

Mais il faut toujours choisir une unité qui soit de même nature que la grandeur à mesurer. On ne mesurera pas une longueur en secondes, ni un temps en mètres.

Les unités dont il est question dans les paragraphes qui vont suivre sont celles que l'on employait jusqu'à présent. On trouvera aux paragraphes 122 à 124 les nouvelles unités rendues obligatoires par la loi du 2 avril 1919 et le décret du 26 juillet 1919.

23. Grandeurs fondamentales. Force. — On envisage en *mécanique* trois grandeurs fondamentales :

le temps,
la longueur,
la force.

En mécanique le temps se mesure en *secondes*, les longueurs en *mètres* ou en *millimètres*. Quant à la *force*, il est nécessaire d'en préciser la définition avant d'en définir l'unité.

La force est ce qui cause le mouvement, ou ce qui le modifie. Abandonnons un objet à lui-même : il tombe sur le sol; il est sollicité par une force, puisqu'il se met en mouvement. Cette force est appelée : pesanteur.

Si nous posons l'objet sur une table, la force n'en existe pas moins, mais la table s'oppose au mouvement, elle oppose à la pesanteur une force appelée réaction, égale à la pesanteur, mais dirigée en sens contraire. La table partie, la réaction disparaît, l'objet tombe.

La pesanteur étant une force, on peut se servir comme *unité de mesure des forces*, de la pesanteur que présente un objet déterminé :

En mécanique on prend comme unité de force le *kilogramme*, c'est-à-dire le *poids* d'un décimètre cube d'eau.

On dira par exemple que de la vapeur, enfermée dans une chaudière, exerce sur chaque centimètre carré de la surface des parois une pression de 6 kg.

24. Travail. — Lorsque, sous l'influence d'une force qui lui reste constamment appliquée, un corps se déplace, il y a production de *travail*.

Ce travail a pour expression le produit de la force par le chemin que parcourt, dans la direction de la force, le point auquel cette force est constamment appliquée.

Lorsque, sous l'influence constante d'une force dont nous désignerons la valeur par F , le point d'application de cette force a parcouru un chemin l dans une direction faisant un angle α avec la direction de la force, le travail produit aurait pour expression :

$$F \times l \times \cos \alpha.$$

Le travail est une grandeur, et comme toute grandeur on le mesure en le comparant à une unité.

Cette unité est le kilogrammètre, c'est-à-dire le travail produit par une force de 1 kilogramme déplaçant dans sa direction son point d'application de 1 mètre.

Un poids de 5 kg. tombant verticalement d'une hauteur de 2 m. produit un travail de 10 kgm.

Si la chute, au lieu d'être verticale, se faisait sous un angle α (fig. 2), le travail fourni par un poids de 5 kg. déplaçant son point d'application de 2 m. serait :

$$5 \times 2 \times \cos \alpha.$$

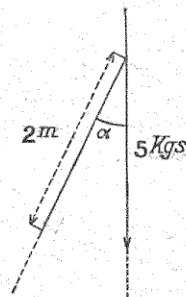


Fig. 2.

Pour qu'il y ait *travail*, il faut qu'il y ait *mouvement*.

Pour que l'on puisse parler du travail fourni par une force, en un temps donné il faut que celle-ci agisse effectivement pendant *tout ce temps*.

25. Travail moteur. — Travail résistant. — Les forces ou efforts qui *s'opposent* à un mouvement déterminé par une autre force, travaillent aussi lorsque le point auquel ils sont appliqués se déplace. Le travail ainsi produit est appelé résistant, par opposition au travail qui est utilisé pour entretenir le mouvement et que l'on appelle travail moteur.

26. Puissance. — On appelle *puissance* d'un moteur la quantité de travail qu'il fournit dans une seconde.

27. Unité de puissance. — Comme les autres grandeurs, la puissance s'évalue au moyen d'une unité.

En mécanique pratique, on emploie comme unité le cheval-vapeur⁽¹⁾. Un moteur d'un cheval-vapeur est un moteur capable de produire 75 kgm. par seconde.

Une autre unité appelée le « Poncelet », puissance d'un moteur qui développe 100 kgm. à la seconde, n'a pas été sanctionnée par la pratique.

Dans les applications électriques, on emploie le watt qui équivaut à 0,102 kgm. par seconde.

Le cheval vaut donc 736 watts.

28. Travail indiqué. — Dans un moteur à explosion, le travail indiqué est celui que produit la pression des gaz lors du déplacement du piston.

La puissance indiquée est le travail indiqué produit en une seconde.

29. Travail effectif. — Mais ce travail indiqué n'est pas du travail entièrement disponible sur l'arbre du moteur.

Une partie, environ 10 p. 100, est balancée par le travail résistant des forces de frottement qui se développent entre les parties fixes et les parties mobiles du moteur.

Le travail véritablement disponible est dit travail effectif.

La puissance effective est le travail effectif produit par seconde.

(1) On désigne souvent le cheval-vapeur par les lettres HP. (initiales d'un mot anglais signifiant également cheval-vapeur).

30. Différence entre la notion de force et la notion de puissance. — On entend quelquefois employer le mot « force » pour désigner la « puissance » d'un moteur.

Il y a là une confusion : la force est la cause qui provoque un mouvement, mais tant que le mouvement ne s'est pas produit, le moteur ne donne aucun travail, sa puissance est nulle.

Exemple : la pression de la vapeur dans un cylindre de locomotive est une *force* qui se fait sentir en chaque point de la paroi, mais cette force ne produit de l'énergie, du travail disponible, que lorsque le piston se déplace.

D'autre part, sous l'influence d'une même force, le piston peut se déplacer plus ou moins vite. Il est facile de voir que la *puissance* augmente lorsque la vitesse augmente, si la *force* qui agit sur le piston reste *constante*.

Prenons par exemple une machine à vapeur.

Si la pression de la vapeur à l'intérieur du cylindre est de 5 kg. et que le piston ait une surface de 200 cm², le piston est sollicité par une force de $5 \times 200 = 1\,000$ kg.

Si le cylindre a une longueur de 1 m., le travail produit à chaque *course motrice* est de 1 000 kgm.

Autant de fois le piston décrira de *courses motrices* par seconde, autant la puissance du moteur sera de fois 1 000 kgm. ou $\frac{1\,000}{75}$ chevaux-vapeur.

Un moteur n'a donc pas une puissance fixe; bien au contraire celle-ci varie avec les conditions de fonctionnement, et si l'on veut comparer deux moteurs il faut préciser les conditions dans lesquelles on a fait la mesure de la puissance.

Pratiquement, un moteur est caractérisé soit par ses puissances maxima et minima (par exemple : 18-40 HP), soit par la puissance qu'il développe dans les conditions de fonctionnement les meilleures (économie, fatigue minimum, etc.).

31. Puissance massique. — La notion de puissance massique fait entrer en ligne de compte le poids du moteur.

La puissance massique est le quotient de la puissance par le poids.

C'est donc la puissance par kilogramme du moteur.

2. — MESURE DE LA PUISSANCE EFFECTIVE

32. Mesure de la puissance. — On peut mesurer la puissance effective ou la puissance indiquée.

Nous étudierons d'abord les appareils qui servent à la mesure de la puissance effective; c'est-à-dire celle qui est réellement disponible sur l'arbre.

33. Appareils de mesure de la puissance effective. — Les appareils de mesure de la puissance effective se divisent en deux classes :

1° *Appareils d'absorption.* — Ces appareils, montés directement sur le moteur, absorbent entièrement le travail fourni.

Dans certains de ces appareils (frein de Prony), le travail du moteur est transformé en chaleur. Il est perdu. Dans d'autres (dynamo) il est transformé en travail utilisable.

Ces appareils mesurent : soit le couple moteur (§ 34) (frein de Prony, dynamo-dynamomètre) soit le travail, lui-même (moulinet Renard, dynamo).

2° *Appareils de transmission.* — Ces appareils, interposés entre le moteur et le mécanisme qu'il actionne habituellement, n'absorbent aucune partie du travail fourni.

Ils mesurent le couple moteur en utilisant la torsion de l'arbre de transmission.

Les appareils d'absorption sont de beaucoup les plus employés dans l'automobile; nous étudierons successivement les appareils de mesure du couple moteur, puis les appareils de mesure directe du travail.

34. Couple moteur. — Considérons le moteur en régime de marche. — Sous l'influence de la pression des gaz résultant de l'explosion, pression qui lui est transmise par le piston et la bielle, la manivelle prend un mouvement circulaire. Si nous supposons le régime régulier atteint, nous pouvons admettre que l'entraînement est produit par une force tangentielle F agissant à l'extrémité du rayon de la manivelle.

Soit :

R le rayon de la manivelle,
 F la force tangentielle.

On appelle *couple moteur* le produit

$$C = F \times R.$$

Or le travail de la force F pour un tour de la manivelle est égal au produit de la force par le chemin parcouru par son point d'application.

C'est donc :

$$2\pi R \times F = 2\pi C.$$

Si le moteur fait N tours à la *minute*, la puissance en kilogrammètres sera :

$$P_{\text{kgm}} = 2\pi C \times \frac{N}{60}.$$

Soit ω la vitesse angulaire, c'est-à-dire l'angle dont tourne la manivelle en une seconde

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}.$$

La puissance en kilogrammètres est donc

$$P_{\text{kgm}} = C\omega$$

et en chevaux :

$$P_{\text{chx}} = \frac{C\omega}{75}.$$

On voit donc que l'on peut connaître la puissance d'un moteur si l'on mesure *le couple* $C^{(1)}$ et *la vitesse* ω .

35. Appareils de mesure du couple moteur. — Frein de Prony. —

Le frein de Prony (fig. 3) se compose essentiellement d'une barre de bois N , portant à une de ses extrémités un plateau destiné à recevoir des poids P , et à l'autre, un collier formé de deux coussinets AB qu'on peut serrer l'un contre l'autre au moyen de boulons ab . Sur l'arbre de la machine dont on veut déterminer la puissance effective, on monte une poulie D dont la jante plate est prise entre les coussinets. Un contrepoids Q maintient l'équilibre du système au repos.

Pour se servir de l'appareil, on desserre les mâchoires et on met le moteur en route. On serre ensuite les mâchoires et tout l'appareil tend à tourner dans le même sens que l'arbre (sens de la flèche).

(1) Le couple ainsi défini est un couple moyen. En réalité, comme nous le verrons plus loin, la force tangentielle et par conséquent le couple moteur oscille constamment autour de cette moyenne.

On met alors des poids dans le plateau pour maintenir le levier horizontal. Deux butées, H et L, limitent les oscillations.

On règle le serrage pour que le moteur tourne à sa vitesse de régime et le poids pour que le fléau reste horizontal.

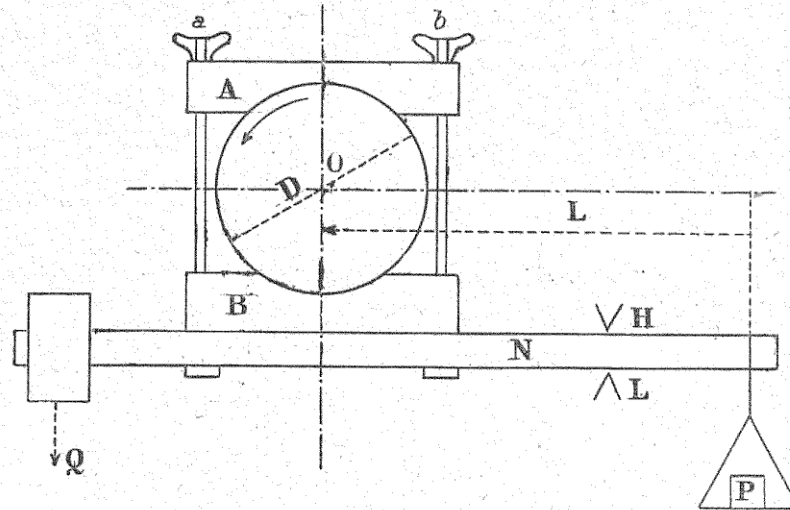


Fig. 3.

Puisque le frein ne tourne pas, c'est qu'il y a égalité entre l'action du poids et celle f de la force de frottement de la poulie sur les coussinets.

En prenant les moments par rapport au centre o , on a :

$$PL = \frac{D}{2}f.$$

D'autre part, si le moteur garde sa vitesse de régime, c'est qu'il y a à tout moment équilibre entre l'action sur l'arbre de l'effort moteur F qui agit à l'extrémité de la manivelle de longueur R et l'action agissant en sens contraire de la force de frottement f appliquée sur le pourtour de la poulie de diamètre D .

En prenant les moments par rapport au centre de l'arbre, on a donc :

$$\frac{D}{2}f = R \times F = C \text{ (couple moteur)}$$

d'où

$$PL = C.$$

La puissance en chevaux du moteur est donc

$$\text{Puissance}_{\text{chx}} = \frac{4}{75} \omega PL.$$

Il est donc nécessaire d'adjoindre au frein un appareil permettant de mesurer ω , vitesse angulaire, ou N , nombre de tours par minute, quantités qui sont liées par la relation :

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60}.$$

Nous en décrirons plus loin quelques types.

36. Utilisation du frein de Prony. — Dans le frein de Prony, tout le travail du moteur est transformé en chaleur par le frottement.

Pour empêcher un échauffement trop considérable, on graisse la poulie et on lui donne une assez grande largeur.

On refroidit le frein avec de l'eau savonneuse.

L'emploi du frein de Prony est limité : on ne peut l'employer que pour des puissances et des vitesses réduites ; pratiquement on ne peut dépasser 1 000 tours par minute. C'est dire qu'il ne peut être utilisé pour la plupart des moteurs d'automobile. On se sert en général de la dynamo-dynamomètre.

37. Dynamo-dynamomètre. — La dynamo-dynamomètre (fig. 4) est un frein dans lequel le frottement est remplacé par des réactions électro-magnétiques.

Elle se compose d'une dynamo ordinaire avec cette différence que la carcasse qui supporte les inducteurs est montée sur paliers et peut prendre un mouvement de rotation autour de l'axe de l'induit. Cette carcasse est munie de deux fléaux équilibrés.

Dans toute dynamo, dès que l'induit tourne sous l'impulsion d'un moteur, son déplacement dans le champ magnétique des inducteurs fait naître des courants dans chacune des spires de l'induit et ces courants, d'après la loi de Lenz, sont tels que leur action électro-magnétique vis-à-vis des inducteurs tend à s'opposer à la rotation de l'induit.

Il y a en somme attraction entre les spires de l'induit et les inducteurs, si bien que lorsque l'induit tourne, les inducteurs et la carcasse qui les supporte sont attirés dans le même sens.

Dans une dynamo ordinaire, la carcasse maintenue solidement

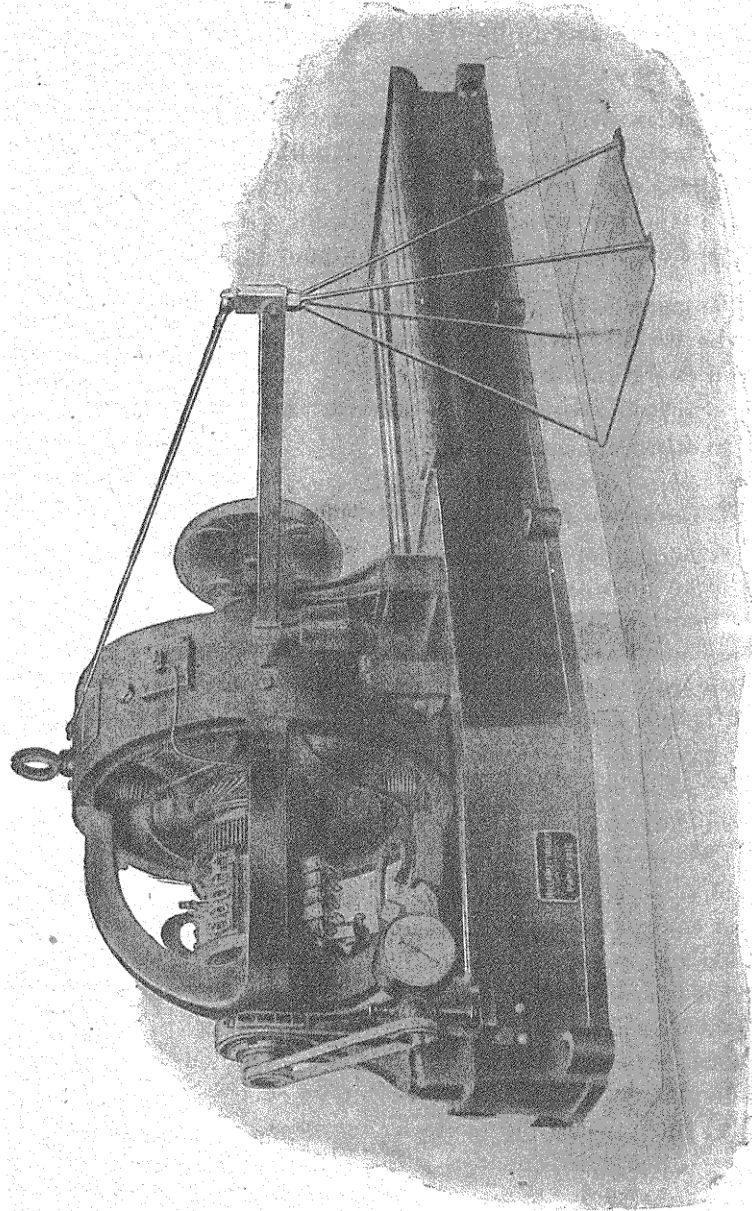


Fig. 4. — Dynamo-dynamomètre de la maison Hillairet-Huguet.

sur le bâti, ne peut se déplacer, mais dans la dynamo-dynamomètre

la carcasse et les fléaux qu'elle supporte tournent effectivement autour de l'axe commun aux inducteurs et à l'induit, tout comme tournent les coussinets du frein de Prony avant qu'ils soient immobilisés par le poids P.

38. Utilisation de la dynamo-dynamomètre. — On l'accouple sur l'arbre du moteur, et on maintient l'équilibre de la carcasse par un poids placé dans un plateau solidaire d'un des fléaux.

Le calcul et par conséquent la formule qui donne le couple-moteur sont exactement les mêmes que pour le frein de Prony.

39. Avantages de la dynamo-dynamomètre. — 1° *Elle est très précise.* — Le travail fourni par le moteur est en effet transformé :

a) En énergie mécanique :

frottement des balais et résistance de l'air ;

b) En énergie électrique :

pertes par hystérésis, courants de Foucault, effet Joule, énergie aux bornes, énergie d'excitation.

L'effort correspondant à l'énergie électrique est transmis intégralement au fléau par les réactions électromagnétiques.

L'effort correspondant au frottement de la carcasse sur l'arbre et des balais sur le collecteur est également transmis au fléau par réaction mécanique.

Seule, la très faible résistance au mouvement de l'induit à vide (frottement des paliers et résistance de l'air) n'est pas comptée.

La dynamo-dynamomètre donne donc la mesure aussi précise que possible de la puissance développée.

Elle offre, en outre, les avantages suivants :

a) La plus grande partie du travail fourni par le moteur est transformé en énergie électrique et par conséquent presque entièrement disponible aux bornes de la dynamo.

b) Il est possible sans rien changer au dispositif de mesurer les puissances du moteur qui correspondent aux différentes allures.

On peut, en effet, sans même arrêter le moteur et en faisant varier simplement l'excitation (à l'aide d'un rhéostat) et la résistance du circuit parcouru par le courant prélevé aux bornes, faire varier la vitesse et par conséquent la puissance du moteur. On peut ainsi facilement déterminer la vitesse qui donne la puissance maxima.

La figure 4 représente une dynamo-dynamométrique.

40. Appareils mesurant directement la puissance. — *Moulinet Renard* (fig. 5). — Il se compose d'une barre de bois A perpendiculaire à l'arbre du moteur et solidaire de cet arbre.

Sur cette barre, on peut fixer symétriquement par rapport à l'arbre, des plans égaux PP en aluminium.

Chaque appareil possède un jeu de plans de différentes dimensions que l'on peut fixer symétriquement à différentes distances de l'arbre, au moyen de boulons passant dans des trous percés à l'avance dans la barre A.

Dès que le moulinet tourne, la résistance de l'air s'oppose au mouvement.

Cette résistance varie :

1° Avec la surface des plans;

2° Avec leur vitesse, c'est-à-dire avec leur écartement, car, pour une même vitesse de l'arbre, plus les plans sont écartés, plus grand est le chemin qu'ils parcourent dans l'air dans un temps déterminé, plus par conséquent les plans tournent vite;

3° Avec la densité de l'air.

On peut exprimer la résistance de l'air sur les deux plans par une formule de la forme

$$2KaS(\omega r)^2$$

dans laquelle :

K, est un coefficient propre au moulinet;

a, est le poids d'un mètre cube d'air à l'intérieur de la salle où se fait la mesure;

S, est la surface des plans;

ω , la vitesse *angulaire* de leur déplacement;

2r, leur écartement.

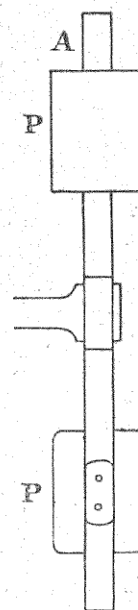


Fig. 5.

La résistance de l'air est une force dirigée perpendiculairement aux plans P.

Le moment de cette résistance par rapport à l'axe du moteur est donc

$$2arKS(\omega r)^2$$

et l'on sait que

$$\omega = 2\pi \frac{N}{60},$$

N étant le nombre de tours du moteur à la minute.

(Dans la pratique, on remplace N par $\frac{N}{1\,000}$ pour faciliter les calculs.)

On voit donc que la formule qui donne l'expression du moment comprend deux sortes de nombres :

1° Des constantes qui ne changent pas toutes les fois que l'on utilise le même moulinet, les mêmes plateaux et le même écartement.

On peut représenter par K_m leur produit.

2° Des variables :

$$a \quad \text{et} \quad \frac{N}{1\,000}.$$

Le moment de la résistance de l'air peut donc être mis sous la forme :

$$aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^2.$$

Le travail résistant par tour est

$$2\pi aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^2.$$

Puisque le moteur conserve sa vitesse, c'est qu'il y a équilibre entre le travail moteur et le travail résistant; la puissance du moteur est donc :

$$P = \frac{N}{60} \times 2\pi aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^2,$$

d'où

$$P = \frac{\pi}{30} 1\,000 aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^3 = \frac{100\pi}{3} aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^3$$

et en posant

$$K_t = \frac{100\pi}{3} K_m$$

il vient

$$P = aK_t \left(\frac{N}{1\,000} \right)^3.$$

On voit donc que, pour déterminer la puissance d'un moteur, il suffit de chercher le moulinet (dimensions et écartement des plans) qui permet au moteur de conserver sa vitesse de régime. Ce moulinet a un coefficient K_t qui lui est propre. Si l'on connaît ce coefficient et la valeur de a au moment de l'essai, on en déduira facilement la puissance du moteur.

41. Tarage. — La détermination de K_t se fait expérimentalement à l'aide d'une balance dynamométrique et cette opération s'appelle le tarage du moulinet.

42. Balance dynamométrique. — Sur le fléau d'une balance, on installe à la partie supérieure et au milieu une plate-forme oscillant avec lui.

Sur cette plate-forme, on fixe une dynamo qui reçoit son courant au moyen de deux fils plongeant dans des godets à mercure.

On installe enfin sur l'arbre de la dynamo les moulinets à tarer.

La dynamo étant mise en marche, les moulinets reçoivent de l'air une réaction qui gêne leur mouvement de rotation et la dynamo elle-même tend à tourner autour de son arbre en sens contraire au sens de rotation des moulinets. Elle entraîne dans son mouvement le fléau dont on rétablit l'équilibre à l'aide d'un poids P .

Le moment de la réaction est donc, comme dans la dynamo-dynamomètre, égal à

$$M = P \times L,$$

L étant la distance horizontale qui sépare le poids P de l'axe vertical de la balance.

Ce moment, nous l'avons vu, est aussi égal à

$$aK_m \left(\frac{N}{1\,000} \right)^2.$$

On calcule ainsi K_m connaissant a , lequel dépend :

- 1° De la température ambiante;
- 2° De la pression atmosphérique;
- 3° De l'état hygrométrique de l'air.

$$K_m = \frac{M}{a \left(\frac{N}{1\,000} \right)^2}.$$

On fait plusieurs mesures en faisant croître la vitesse et on doit trouver pour K_m une valeur constante.

De K_m on déduit facilement K_t .

La constance de K_m vérifie la loi sur laquelle nous nous sommes appuyés au début du calcul :

La résistance de l'air est proportionnelle à la surface des plans et au carré de leur vitesse linéaire de rotation.

43. Module. — Les moulinets sont caractérisés par leur module μ .

Le module est le nombre exprimant en centimètres l'écartement constant des trous qui sont régulièrement espacés sur la barre A.

Les dimensions d'un moulinet s'expriment en modules (le nombre est désigné par la lettre μ).

Par exemple :

Longueur de la barre	24 μ
Épaisseur	μ
Hauteur du profil	2 μ
Plan { côté	$\frac{60}{11} \mu$
épaisseur	$\frac{4}{53} \mu$

etc....

44. Similitude. — La formule

$$M = 2raKS(\omega r)^2$$

montre que si λ est le rapport de similitude de deux moulinets géométriquement semblables, les moments résistants sont dans le rapport de 1 à λ^5 .

L'expérience vérifie cette proposition.

45. Abaques. — Des graphiques, appelés abaques (fig. 6) permettent de déterminer sans calcul la puissance absorbée par un moulinet donné.

Il suffit de noter :

- 1° Le numéro du trou de fixation des plans;
- 2° La grandeur de ceux-ci (en général les moulinets ne comportent que deux types de plans, le grand et le petit);
- 3° Le nombre de tours du moteur.

On cherche sur la droite où sont comptées les vitesses (fig. 6) le point correspondant à la vitesse du moteur au moment de l'essai. On élève par ce point une perpendiculaire à cette droite et l'on marque le point de rencontre de cette perpendiculaire avec la courbe qui correspond au trou de fixation et au type de plan employé (grand ou petit). On mène par ce point une parallèle à la droite où sont comptées les vitesses jusqu'à la rencontre de la droite où sont comptées les puissances.

La puissance lue sur les abaques ne tient pas compte du poids

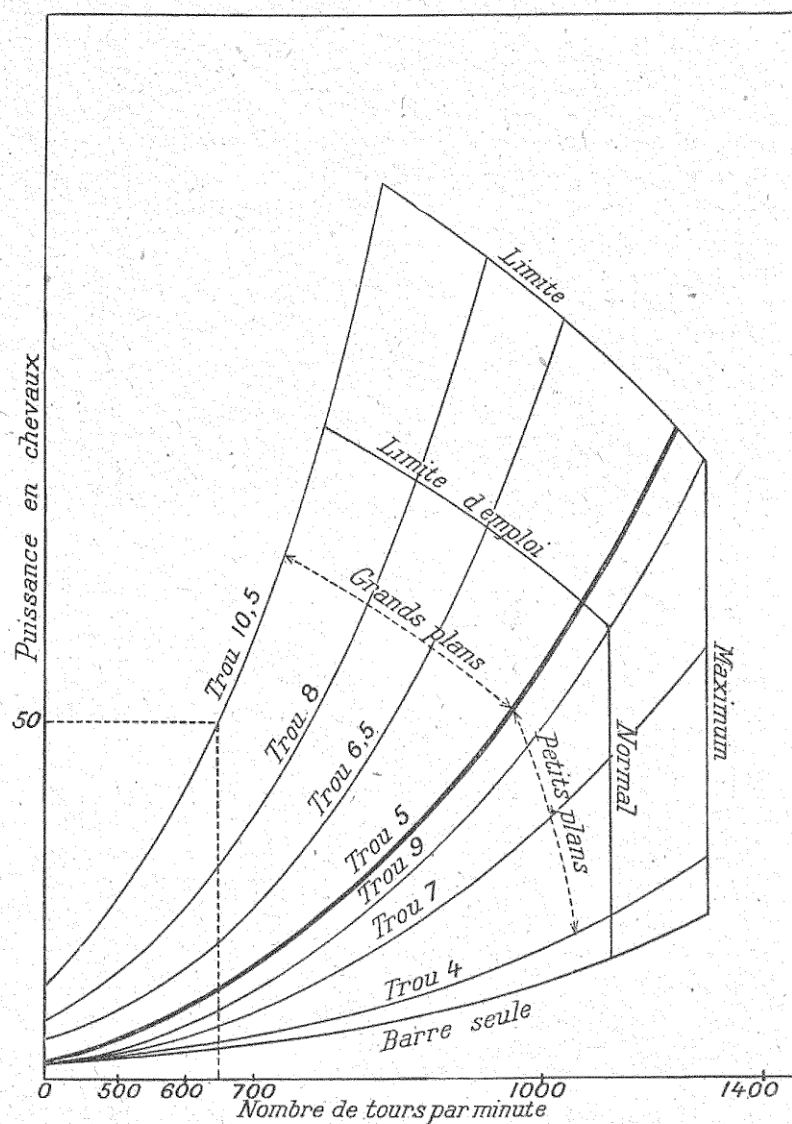


Fig. 6. — Exemple d'abaque d'un moulinet Renard.

spécifique de l'air, mais d'autres abaques permettent de déterminer les corrections à faire subir au résultat précédent, suivant l'état de

l'atmosphère au moment de l'essai (pression barométrique, température).

46. Emploi. — Le moulinet Renard est économique et pratique.

Il donne, en général, la puissance avec une approximation d'environ 5 p. 100 lorsqu'il est bien équilibré et qu'il fonctionne *dans les mêmes conditions qu'au moment de son tarage*.

Il n'a pas toute la précision nécessaire pour l'étude d'un moteur, mais il est suffisant pour la vérification de la bonne marche d'une série de moteurs établis sur un type déterminé.

47. Dynamo. — On peut employer une dynamo pour connaître la puissance P d'un moteur. Si E est la force électromotrice du courant produit par la dynamo accouplée au moteur, I l'intensité, R le rendement de la dynamo ;

$$P = \frac{EI}{R}.$$

L'opération est beaucoup plus compliquée qu'avec la dynamo-dynamométrique :

Il faut tout d'abord tarer la dynamo, c'est-à-dire connaître son rendement à tous les régimes.

Il faut exciter la dynamo par un circuit indépendant.

D'autre part, il faut maintenir constante pendant tout l'essai la résistance du circuit extérieur, ce qui nécessite un ensemble de précautions pour utiliser le courant produit.

On n'emploie donc pas la dynamo pour avoir des indications précises. Elle ne peut servir que pour fournir des indications approximatives.

48. Mesure des vitesses de rotation. — La vitesse de rotation se mesure en nombre de tours par minute.

La vitesse de rotation est, en général, trop considérable pour pouvoir être appréciée sans le secours d'un instrument spécial appelé « tachymètre ».

Les tachymètres donnent la vitesse instantanée du moteur. On les range en deux classes suivant qu'ils emploient des dispositifs :

1° Mécaniques ;

2° Électriques.

49. Exemple de tachymètre mécanique. — *Cinémomètre Richard.* — Il donne la vitesse angulaire instantanée.

Celle-ci est, comme on sait, le quotient du nombre de tours effectués pendant un temps très court par ce temps.

Il se compose :

1° D'un plateau P qui tourne avec une vitesse angulaire constante et cette vitesse *constante* est entretenue par le moteur lui-même, qui entraîne le plateau P par l'intermédiaire d'une poulie qu'un régulateur à force centrifuge débraye lorsque la vitesse du plateau P dépasse une certaine limite.

2° D'une roulette R qui peut rouler sur P et dont l'axe porte à son extrémité une vis S qui engrène sur un pignon T , lequel tourne à la vitesse du moteur (fig. 7).

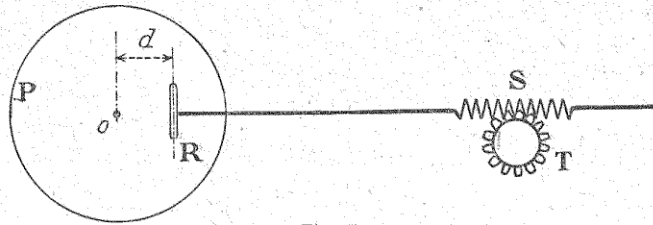


Fig. 7.

Si le plateau P était fixe, la rotation de T tendrait à éloigner la roulette R du centre de P d'une quantité proportionnelle au nombre de tours que fait le moteur dans un temps t . Mais, comme le plateau P tourne, la roulette R se met à tourner, la vis S tourne également et par suite de la présence de la roue T , sur laquelle S engrène en tournant, la roulette R est ramenée au centre du plateau.

En un mot, la roulette est soumise à un double mouvement :

1° Elle est entraînée vers la périphérie du plateau proportionnellement au nombre N de tours que fait le moteur dans le temps t .

2° Elle est entraînée vers le centre proportionnellement au temps t et à la distance d qui le sépare de ce centre.

La roulette prend alors une position d'équilibre pour laquelle

$$N = dt;$$

donc

$$d = \frac{N}{t},$$

c'est-à-dire que cette distance d est proportionnelle à la vitesse angulaire du moteur.

Les mouvements de la roulette (variations de d) sont transmis à une aiguille ou au style d'un enregistreur.

50. Exemple de tachymètre électrique. — *Tachymètre Chauvin et Arnoux.* — L'induit d'une petite magnéto à volet tournant (inducteur et induit fixes, variation de champ magnétique produite par la rotation de deux petites pièces de fer doux autour de l'axe de l'induit) est relié aux bornes d'un galvanomètre à dilatation.

On emploie un galvanomètre à dilatation parce que la magnéto donne un courant alternatif.

Plus la vitesse est grande, plus grande est l'intensité du courant fourni.

Les indications du galvanomètre préalablement taré donnent la vitesse angulaire.

3. — MESURE DE LA PUISSANCE INDIQUÉE

51. Diagrammes. — Les appareils décrits ci-dessus donnent la valeur de la puissance effective.

Ceux que nous allons étudier donnent la puissance indiquée. A ce point de vue, ils sont moins intéressants que les précédents, mais ils renseignent sur le fonctionnement interne des moteurs et par conséquent sur les défauts qu'ils présentent et auxquels on doit remédier.

Les indications fournies par ces appareils sont données sous forme de diagrammes.

52. Définition du diagramme d'un moteur. — Le diagramme est la représentation graphique des transformations que subit le mélange gazeux à l'intérieur du moteur.

Prenons deux axes rectangulaires Ox et Oy .

Sur Ox , portons des longueurs proportionnelles aux volumes occupés à chaque instant par le mélange gazeux dans le cylindre (proportionnelles par conséquent aux déplacements du piston).

Sur Oy des longueurs proportionnelles aux pressions qui correspondent aux volumes portés sur Ox .

A l'aide de ces repères, il est facile de suivre les transformations d'une masse donnée de gaz.

Chacun de ses états sera représenté par un point déterminé en élevant une perpendiculaire à Ox au point qui correspond au volume du gaz et à Oy , une perpendiculaire à Oy au point qui indique la pression.

L'intersection de ces deux perpendiculaires donne le point représentatif de l'état considéré.

En joignant par un trait continu les points qui correspondent à la transformation étudiée, on obtient une courbe qui est l'image de cette transformation.

L'ensemble des courbes correspondant à *un cycle* forme le diagramme du moteur.

53. Mesure du travail indiqué. — Le diagramme permet de calculer le travail produit dans la transformation.

Considérons la portion de courbe limitée par les points M_1 et M_2 (fig. 8).

Prenons sur cette courbe deux points très rapprochés o et r .

En o , la pression est représentée par ou .

En r , la pression est représentée par rt .

La pression moyenne qui agit sur le piston pendant que le gaz passe de l'état représenté par o à celui représenté par r est

$$\frac{ou + rt}{2}.$$

La pression est exprimée en kilogrammes par unité de surface. Sur toute la surface s du piston, cette pression agit avec une force égale à

$$s \times \frac{ou + rt}{2}.$$

Sous l'influence de cette force, le piston s'est déplacé d'une longueur l et, en conséquence, le volume a varié de

$$s \times l$$

et cette variation est représentée par ut

$$ut = s \times l.$$

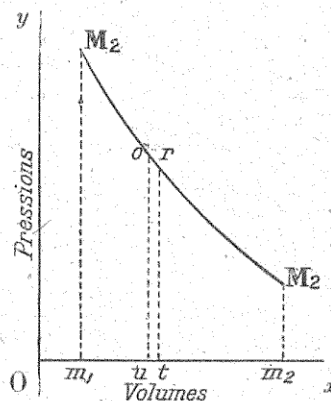


Fig. 8.

Le travail engendré pendant la variation considérée sera

$$s \times \frac{ou + rt}{2} \times l = \frac{ou + rt}{2} ut.$$

Il est donc égal à l'aire du trapèze $ostr$.

Si les deux points o et r sont très voisins, ce trapèze se confond avec le trapèze curviligne formé par la courbe, les deux perpendiculaires os et rt et l'axe des x .

En raisonnant ainsi de proche en proche, on en conclut que :

Le travail correspondant à une transformation M_1M_2 est égal à l'aire de la surface $m_1M_1M_2m_2$ limitée par :

- 1° La courbe ;
- 2° L'axe des volumes Ox ;
- 3° Les perpendiculaires abaissées sur Ox par les points M_1 et M_2 .

54. Diagramme théorique. — Le diagramme théorique (fig. 9) d'un moteur à quatre temps se construira comme suit :

Traçons la droite AB parallèle à Ox et à une distance de Ox

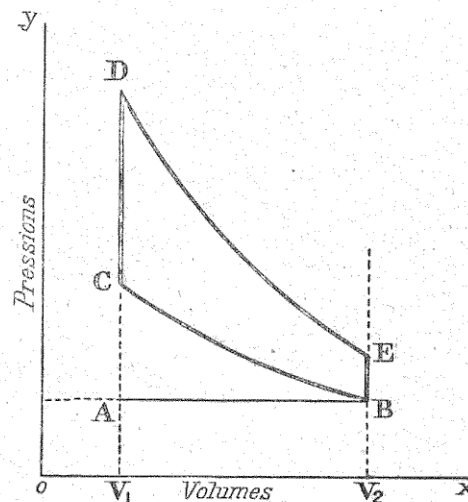


Fig. 9.

égale à une pression atmosphérique, et les perpendiculaires à Ox qui correspondent à :

- V_1 volume de la chambre de compression ;
- V_2 volume total du cylindre.

Suivons le cycle.

Aspiration Elle se fait sous la pression atmosphérique, donc suivant AB.

Compression Le volume diminue, la pression augmente jusqu'à la valeur V_1C , donc courbe BC.

Explosion et détente. La combustion étant théoriquement instantanée, elle est représentée par une augmentation de pression à volume constant CD. Dans la détente, le volume augmente, la pression diminue jusqu'à la valeur V_2E , supérieure à la pression atmosphérique (courbe DE).

Échappement La pression des gaz brûlés tombe brusquement à la pression atmosphérique suivant EB, puis le volume du cylindre diminue, la pression restant égale à la pression atmosphérique (droite BA).

55. Travail fourni. — Le travail indiqué est égal au travail moteur représenté par l'aire V_1DEV_2 diminué du travail résistant (compression) représenté par l'aire CBV_2V_1 .

Le travail indiqué est donc représenté par l'aire CDEB.

56. Pression moyenne. — Considérons un rectangle ayant même surface que l'aire CDEB et pour base $V_2 - V_1$.

La hauteur P_m de ce rectangle est appelée ordonnée moyenne du diagramme; elle représente la pression moyenne qui devrait s'exercer sur le piston pendant la course de détente pour que le moteur produise le même travail, les trois autres courses étant supposées ne produire, ni n'absorber aucun travail.

57. Calcul du travail produit par cycle. — Soit :

D le diamètre du piston (alésage), mesuré en centimètres.

P_m la pression moyenne mesurée en kg. par cm^2 .

l la course mesurée en mètre.

L'expression du travail est :

$$T = \frac{\pi D^2}{4} \times l \times P_m$$

(force multipliée par déplacement).

58. Puissance. — Soit N le nombre de tours à la minute.

Le nombre de courses motrices sera dans un moteur à quatre temps, à la minute :

$$\frac{N}{2}$$

et à la seconde :

$$\frac{N}{120}.$$

La puissance du moteur, sera en kilogrammètres

$$P_{\text{kgm}} = \frac{\pi D^2}{4} \times l \times P_m \times \frac{N}{120};$$

en chevaux :

$$P_{\text{chx}} = \frac{1}{75} \times \frac{\pi D^2}{4} \times l \times P_m \times \frac{N}{120},$$

$$= 0,0000875 P_m D^2 l N.$$

Si le moteur a n cylindres de mêmes dimensions, sa puissance indiquée est :

$$P_{\text{chx}} = n \times 0,0000875 P_m D^2 l N.$$

59. Rendement organique ou mécanique. — Cette puissance P n'est pas celle qui est disponible sur l'arbre du moteur.

On appelle rendement organique le rapport de la puissance effective à la puissance indiquée.

Soit K ce rendement organique.

La puissance effective est :

$$P_{\text{eff. chx}} = K \times n \times 0,0000875 P D^2 l N.$$

60. Relevé des diagrammes. — Pour relever les diagrammes sur les moteurs eux-mêmes, on se sert d'appareils analogues à l'indicateur de Watt (fig. 10).

Un cylindre qui peut tourner autour d'un axe est actionné par une transmission qui le fait tourner à une vitesse uniforme proportionnelle à celle du moteur.

Un piston a muni d'un style reçoit à chaque instant la pression qui règne à l'intérieur du cylindre du moteur. Le style trace le diagramme sur le cylindre de l'indicateur.

61. Manographe. — Dans les indicateurs de Watt, les mouvements sont transmis mécaniquement, il en résulte, par suite de l'inertie des pièces (§ 108) des inexactitudes qui ont leur importance, vu les faibles dimensions des diagrammes.

Dans les manographes, la transmission se fait par rayons lumineux. Le crayon de l'indicateur est remplacé par un point lumineux qui trace, sur un verre dépoli, un diagramme dont l'ensemble est

parfaitement saisissable à cause de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine. D'ailleurs, en remplaçant la plaque dépolie

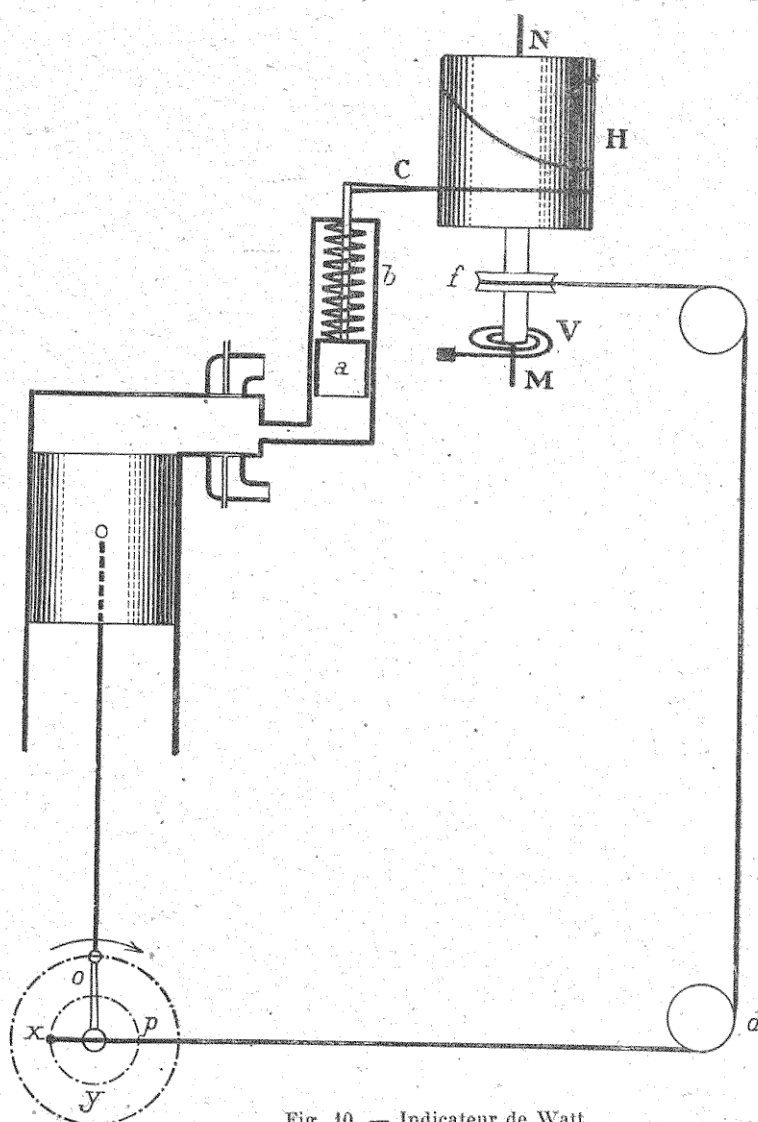


Fig. 10. — Indicateur de Watt.

par une plaque photographique, il est facile de prendre une photographie des diagrammes.

Le principe du manographe (fig. 11, 11^{bis} et 11^{ter}) est le suivant :
Le mouvement de l'arbre du moteur est transmis par un flexible à un petit arbre o muni d'une manivelle oN et d'une bielle NB .

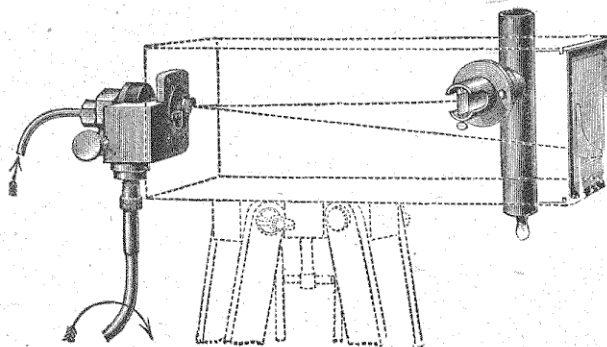


Fig. 11.

En B est attaché un miroir M qui reçoit un pinceau lumineux très fin qui est réfléchi suivant MP et qui produit sur un écran un point lumineux P très intense. On voit donc que lorsque N fait un tour complet, le point B décrit une droite XY (fig. 11^{bis}).

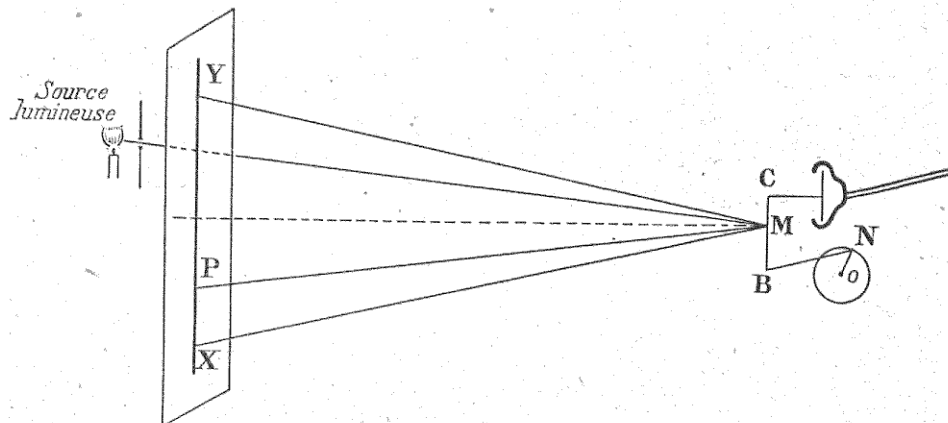


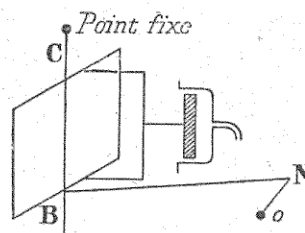
Fig. 11 bis.

De plus, le miroir M peut osciller autour de CB et ses mouvements d'oscillation sont commandés par une membrane qui reçoit la pression exercée à chaque instant dans le cylindre (fig. 11^{bis} et 11^{ter}).

Si nous supposons le point N fixe, ces mouvements oscillatoires feront décrire au point P une perpendiculaire à XY.

En réglant l'appareil, on s'arrange pour que les déplacements de P suivant XY soient proportionnels aux espaces parcourus par le piston du moteur et les déplacements perpendiculaires à XY, proportionnels aux pressions exercées dans le cylindre.

On voit donc que, ces conditions étant remplies, le point P décrira le diagramme cherché.

Fig. 11^{ter}.

62. Indicateur d'explosions de Mathot. — Cet appareil est analogue à l'indicateur de Watt, mais les pièces sont très légères.

Il ne donne pas de diagrammes, mais indique, sur un tambour enregistreur qui tourne à une vitesse *quelconque*, les pressions explosives et permet ainsi de les comparer entre elles.

63. Usage des diagrammes pour vérifier le fonctionnement des moteurs. — La mesure de la puissance effective permet de se rendre compte de l'influence que peuvent avoir certaines modifications apportées à la construction du moteur ou aux conditions d'emploi, mais elle ne permet pas l'analyse des phénomènes.

Le relevé des diagrammes indique, au contraire, l'influence première de chacune de ces modifications.

De même les diagrammes permettent de déceler les vices de construction.

On trouvera plus loin (fig. 17) des exemples de diagrammes révélant des conditions de fonctionnement anormales.

Nous connaissons maintenant les moyens employés pour mesurer les puissances. Ajoutons que, pratiquement, si l'on fait des mesures précises toutes les fois que l'on étudie un moteur nouveau ou un perfectionnement à un moteur déjà existant, par contre on se contente, lors de la fabrication en série d'un type de moteur bien déterminé, de s'assurer que la puissance de chaque moteur en marche normale est supérieure à un minimum.

4. — FORMULES EMPIRIQUES

64. Formules diverses. — Nous indiquons ici quelques formules qui donnent, avec une approximation plus ou moins grande, la puissance du moteur. En réalité, la connaissance exacte des éléments qui entrent dans la formule du § 59 est indispensable pour calculer avec une approximation suffisante la puissance d'un moteur.

Cependant, comme en pratique, le nombre de tours, le rapport de la course à l'alésage, le rendement organique, la pression moyenne restent compris entre des limites assez rapprochées, on a essayé d'établir des formules où ces données ne figurent plus explicitement.

Les unes contiennent uniquement l'alésage :

Formule de la commission technique de l'A. C. F. — Moteurs à quatre cylindres :

$$P_{\text{chx}} = 0,0028 D^2.$$

D est compté en millimètres.

Ancienne formule du Service des Mines (calcul de l'impôt). — Moteurs à quatre cylindres :

$$P_{\text{chx}} = 0,044 D^{2,7}$$

D est compté en centimètres.

Les autres contiennent l'alésage et la course.

Formules de M. Faroux. — Moteurs à quatre cylindres :

$$P_{\text{chx}} = 0,00002936 \times D^{2,4} \times l^{0,6}.$$

Moteurs monocylindriques :

$$P_{\text{chx}} = 0,00000739 \times D^{2,4} \times l^{0,6}$$

D et l étant comptés en millimètres.

65. Nouvelle formule du Service des Mines. — L'impôt sur les automobiles étant proportionnel à la puissance du moteur, le Service des Mines a établi des formules lui permettant de calculer cette puissance.

La première formule était basée uniquement sur l'alésage, mais, établie au moment où les moteurs avaient une course relativement

faible, elle donnait des résultats complètement inexacts lorsqu'on l'appliquait aux moteurs à longue course.

On applique maintenant la formule suivante qui tient compte de la course et de la vitesse de rotation :

$$P = K n D^2 l V.$$

K étant un coefficient égal à :

- 0,00020 pour les monocylindres.
- 0,00017 pour les bicylindres.
- 0,00015 pour les moteurs à quatre cylindres.
- 0,00013 pour les moteurs à six cylindres.
- n étant le nombre de cylindres.
- D l'alésage en *centimètres*.
- l la course en mètres.
- V le nombre de tours par seconde.

Cette formule ne donne que des indications approximatives et inférieures en général à la réalité.

CHAPITRE III

RENDEMENT THERMIQUE. — INERTIE

1. THÉORIES DE LA THERMODYNAMIQUE. — CYCLE DE CARNOT. — Principes de la conservation de l'énergie. — Équivalent mécanique de la calorie. — Propriétés des gaz. — Cycles. — Cycle de Carnot.

2. CYCLE SPÉCIAL DES MOTEURS A EXPLOSION. — Influence du refroidissement. — Action de paroi. — Théorie de M. Letombe. — Moyens d'accroître le rendement.

3. FORCES D'INERTIE. — Rappel de quelques notions de cinématique. — Accélération. — Forces d'inertie. — Application au moteur.

1. — THÉORIES DE LA THERMODYNAMIQUE

66. Analyse de la puissance. — Dans le chapitre précédent, nous avons vu que la puissance effective d'un moteur dépendait de deux facteurs :

Puissance indiquée,
Rendement mécanique.

A toute augmentation de ces deux facteurs devrait correspondre une augmentation de la puissance effective, la seule intéressante pour le consommateur.

Remarquons cependant que ces deux facteurs ne sont pas indépendants si bien qu'avant d'apporter au moteur une modification susceptible d'accroître la puissance indiquée, il faut être bien certain que cette modification n'aura pas une mauvaise influence sur le rendement mécanique.

Sinon, on s'expose à ne recueillir au frein qu'une faible partie de l'accroissement de puissance que l'on espérait obtenir.

Parfois même, il arrive que le rendement mécanique diminue plus que la puissance indiquée n'augmente, comme il peut se faire

aussi bien qu'une modification qui diminue la puissance indiquée augmenté dans de plus grandes proportions le rendement mécanique et par conséquent la puissance effective. C'est donc dans une action concordante sur les deux facteurs de puissance que l'on devra chercher une amélioration du moteur.

Il faut enfin se préoccuper de la conservation en parfait état de tous les mécanismes.

On a vu très souvent des moteurs dont le rendement mécanique, très bon au début, diminuait beaucoup par suite de la fatigue et de l'usure des organes, conséquence d'un mauvais calcul des pièces, soit qu'elles soient trop faibles pour résister longtemps aux efforts que la pression motrice leur impose, soit que les forces d'inertie dont nous parlerons plus loin aient sur elles une influence néfaste.

67. Application au moteur à explosion des théories de la thermodynamique. — On a cherché longtemps une augmentation considérable de la puissance dans l'accroissement de la puissance indiquée.

C'est que l'on a cru que les théories de la thermodynamique et en particulier celle du cycle de Carnot (§ 84) pouvaient intégralement s'appliquer au moteur à explosion. Nous allons voir qu'il n'en est rien et que le moteur à explosion fonctionne suivant un cycle particulier.

L'étude de ce cycle nous fera connaître quelles sont les meilleures conditions à réaliser pour que le moteur à explosion donne son maximum de rendement.

68. Transformation de l'énergie. — Rappelons tout d'abord les principes fondamentaux sur lesquels repose l'étude d'un moteur thermique.

On appelle moteur un appareil capable de produire du travail.

Or, dans la nature, « rien ne se perd et rien ne se crée ».

Un moteur ne « crée » pas du travail, il transforme en « travail » l'énergie qui lui est fournie sous une autre forme. Par exemple : une machine réceptrice électrique, reçoit de l'énergie sous forme électrique et fournit du travail mécanique.

69. Transformation de la chaleur en travail. — Les moteurs thermiques sont ceux qui transforment de la chaleur en travail.

Dans ces moteurs, la chaleur est fournie par la combustion de corps dits combustibles qui, en se combinant à l'oxygène de l'air, dégagent de la chaleur à haute température.

Mais, alors que la plus grande partie de l'énergie que possède, par exemple, l'eau qui jaillit d'un réservoir de montagne se retrouve sous forme mécanique dans la turbine, alors que cette énergie se trouve presque entièrement transformée en énergie électrique dans la dynamo calée sur la turbine, au contraire il est impossible de transformer en travail ou énergie mécanique, toute l'énergie dégagée sous forme de chaleur par les corps combustibles.

La transformation de la chaleur en travail ne se fait jamais sans pertes considérables.

C'est la transformation la plus difficile à réaliser, alors qu'au contraire toutes les formes de l'énergie que l'on trouve dans la nature : mécanique, électrique, chimique se transforment en énergie calorifique c'est-à-dire en chaleur avec une facilité des plus grandes.

Prenons comme exemple la machine à vapeur.

En brûlant du charbon, on produit une certaine quantité de vapeur dont la pression, agissant sur un piston, produit un certain travail mécanique.

Une grande partie de la chaleur fournie à la chaudière n'est pas transformée. Elle est rejetée soit à l'atmosphère, soit au condenseur.

De plus, une partie de l'énergie mécanique produite est absorbée sous forme de travail résistant par des frottements et ce travail résistant est intégralement transformé en chaleur, donc perdu.

Par contre, si la machine à vapeur actionne une dynamo, la presque totalité du travail *disponible sur l'arbre de la machine se retrouve aux bornes de la dynamo sous forme électrique.*

70. Loi de l'équivalence. — En résumé :

1° Nous pouvons produire du travail mécanique en transformant de la chaleur.

2° Une partie de la chaleur mise en jeu est inutilisée.

La transformation se fait d'après la loi de l'équivalence qui s'exprime ainsi :

Il existe un rapport constant entre la quantité de chaleur réelle-

ment transformée et la quantité de travail fournie par cette transformation.

71. Unité de chaleur. — La chaleur se mesure en calories.

La calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 0 à 1° une masse d'eau de 1 kg.

72. Équivalent mécanique de la calorie. — La transformation en travail d'une calorie produit 425 kgm.

73. Machine thermique élémentaire. — La transformation de la chaleur en travail ne se fait pas d'elle-même. Il est nécessaire de choisir un agent de transformation.

Cet agent est, dans les machines à vapeur, de la vapeur d'eau, dans les moteurs à explosion d'automobiles, les gaz résultant de la combustion de combustibles liquides tels que l'essence ou le benzol.

D'ailleurs la vapeur d'eau, surtout lorsqu'elle est surchauffée, n'est pas autre chose qu'un gaz.

Le choix d'un gaz comme agent de transformation repose sur les propriétés particulières dont les corps jouissent lorsqu'ils sont à l'état gazeux : ils sont indéfiniment compressibles et extensibles. Tout changement de température détermine des variations très sensibles, soit dans le volume qu'ils occupent, soit dans la pression qu'ils exercent sur les parois qui les renferment, soit à la fois dans leur volume et leur pression.

74. Propriétés des gaz. — Un gaz est caractérisé par trois éléments, chacun d'eux dépendant des deux autres :

Volume,
Pression,
Température.

Dans tout ce qui va suivre :

Le volume : V , sera mesuré en prenant comme unité le mètre cube ;

La pression : p , sera exprimée en kg. par mètre carré.

La température : t , en degrés absolus (degrés centigrades + 273).

Il existe entre le volume, la pression et la température d'une masse de gaz, la relation

$$(1) \quad pv = Rt$$

R étant un coefficient constant quel que soit le gaz considéré.

La valeur de R est facile à obtenir. Il suffit, à un moment quelconque de mesurer les volumes, pression et température du gaz.

Si v_1 , p_1 et t_1 sont les valeurs de ces éléments

$$(2) \quad R = \frac{p_1 v_1}{t_1}.$$

Si $\frac{v_a p_a}{v_b p_b}$ caractérisent deux états d'une même masse de gaz, on a :

$$\frac{p_a v_a}{t_a} = \frac{p_b v_b}{t_b}.$$

75. Chaleurs spécifiques. — On appelle ainsi la quantité de chaleur qu'il faut fournir à une masse de 1 kg. d'un corps pour élever sa température de 1°.

Il existe pour les gaz une infinité de chaleurs spécifiques, qui dépendent des circonstances dans lesquelles se fait la variation de température.

Les deux circonstances principales sont :

1° Élévation de température à volume constant (chaleur spécifique c).

Le gaz est maintenu dans une enceinte indéformable, sa pression croît avec la température.

2° Élévation de température à pression constante (chaleur spécifique C).

Le gaz est enfermé dans une enceinte déformable, mais dont toutes les parois sont toujours soumises à la même pression extérieure.

La pression du gaz qui fait équilibre à la pression extérieure reste donc aussi constante.

La chaleur spécifique à volume constant est inférieure à l'autre. Cela se conçoit :

Dans la transformation à volume constant, la pression augmente mais ne travaille pas, puisqu'il n'y a aucun déplacement.

Dans la transformation à pression constante, il y a variation de volume, donc travail de la pression.

Il faut donc fournir au corps la chaleur qui, par sa transformation, fournira ce travail.

76. Calcul de la quantité de chaleur mise en jeu dans une transformation gazeuse. — La connaissance de ces deux chaleurs spéci-

fiques permet de calculer la quantité de chaleur mise en jeu dans une transformation déterminée.

Pour amener un gaz de l'état $p_1 v_1 t_1$ à l'état $p_2 v_2 t_2$ on peut, en effet, concevoir qu'on lui fournisse ou lui enlève de la chaleur à pression constante, jusqu'à ce que son volume passe de v_1 à v_2 et qu'on fasse varier ensuite la pression de p_1 à p_2 en laissant le volume constant. La température t_1 passera finalement à la valeur t_2 déterminée par la relation $p v = R t$.

Cette relation montre d'ailleurs que si, dans une transformation, la pression reste constante, le volume du gaz est toujours proportionnel à la température. Si le volume reste constant, c'est la pression qui est proportionnelle à la température.

77. Transformation isothermique. — Nous avons vu que toute augmentation de volume d'un gaz correspondait à la production d'un certain travail et par cela même absorbait une partie de la chaleur fournie à la masse gazeuse.

On peut concevoir une transformation dans laquelle la chaleur fournie serait de suite et intégralement transformée en travail. La température de la masse gazeuse ne varierait donc pas, bien qu'on lui eût fourni de la chaleur.

Cette transformation à température constante est appelée isothermique.

La formule (1) devient alors

$$p v = C^{\text{te}}.$$

La transformation isothermique pourrait tout aussi bien se concevoir de la manière suivante :

Supposons que l'on fournisse à la masse gazeuse un travail extérieur qui se transformerait intégralement en chaleur, et que cette chaleur soit enlevée par un agent de refroidissement au fur et à mesure qu'elle prend naissance. Nous aurons encore réalisé une transformation isothermique.

78. Transformation adiabatique. — On appelle ainsi une transformation dans laquelle on n'apporte ou enlève aucune quantité de chaleur à la masse gazeuse.

A chaque augmentation de volume (détente) il y a production de travail et ce travail ne peut se produire qu'aux dépens de la

chaleur que renferme la masse de gaz, puisqu'on ne lui en fournit pas. La température baissera donc.

Inversement, à chaque diminution de volume (compression) correspond une absorption de chaleur qui augmente la température.

La relation qui lie le volume et la pression d'un gaz soumis à une transformation adiabatique est

$$pv^\gamma = C^te$$

γ étant le rapport des chaleurs spécifiques à pression constante et à volume constant

$$\gamma = \frac{C}{c}.$$

79. Machines à piston. — Dans les machines à piston, on utilise l'augmentation de *pression* déterminée par un apport de chaleur.

Remarquons que la chaleur ne peut être transformée en travail réellement utilisable que si elle est produite à haute température.

Dans tout ce qui va suivre, les températures sont mesurées en degrés absolus, lesquelles sont égales aux températures centigrades augmentées de 273.

80. Fonctionnement de la machine thermique élémentaire. — Considérons une masse M de gaz. Mettons-la en contact avec une source de chaleur à la température t (source chaude). Une quantité q_1 de chaleur est communiquée au gaz. La pression s'élève, le piston se déplace, un travail T est produit en même temps que disparaît une quantité de chaleur q .

Pour que la machine puisse fonctionner à nouveau, il faut que la masse M soit ramenée à son état initial.

Or, il reste à la masse de gaz une quantité de chaleur $q_1 - q = q_2$.

Il faut donc enlever cette chaleur en mettant le gaz en contact avec une source froide dont la température est t_2 .

La quantité de travail produite est donc

$$T = 425 (q_1 - q_2).$$

81. Rendement thermique. — On appelle rendement thermique le rapport de la chaleur transformée à la chaleur fournie :

$$\frac{q_1 - q_2}{q_1}.$$

L'étude du rendement thermique est donc des plus fécondes, puisque c'est ce rendement qui caractérise une machine et qui nous fait savoir si les calories dépensées sont utilisées aussi bien que possible et si, par conséquent, le moteur rend bien en travail une portion notable de la chaleur qu'on lui donne.

82. Représentations graphiques. — Nous savons qu'à l'aide des diagrammes on peut suivre les transformations d'une masse de gaz. Chacune des transformations d'une masse déterminée de gaz est représentée sur le diagramme par une courbe qui la caractérise.

Toute transformation isothermique étant caractérisée par la relation $pv = c^{te}$, sera représentée par une branche d'hyperbole équilatère ayant pour asymptotes les axes Ox et Oy (fig. 12).

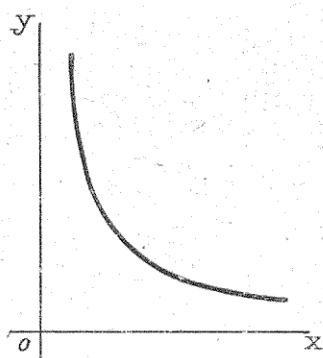


Fig. 12. — Transformation isothermique.

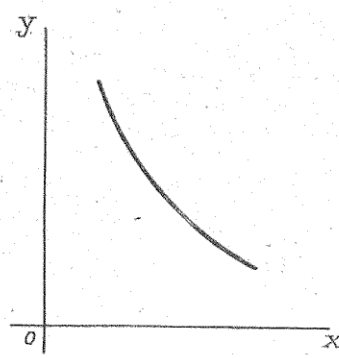


Fig. 13. — Transformation adiabatique.

A chaque température correspond une courbe isothermique et deux lignes isothermiques correspondant à la même masse ne peuvent se couper.

Toute transformation à pression constante sera représentée par une parallèle à Ox et toute transformation à volume constant par une parallèle à Oy .

Une transformation adiabatique (fig. 13) sera représentée par la courbe dont l'équation est

$$pv^\gamma = C^{te}.$$

Deux courbes adiabatiques correspondant à la même masse de gaz ne peuvent se couper.

Les transformations plus complexes seront représentées par des courbes diverses.

83. Cycles fermés. — On dit que la masse de gaz parcourt un cycle fermé si la courbe qui représente ses états successifs se termine au point même où elle a commencé.

Il est facile de voir que, dans une transformation à cycle fermé, le travail produit est égal à la surface intérieure de la courbe représentant le cycle (fig. 14).

Une transformation est dite réversible lorsque le point repré-

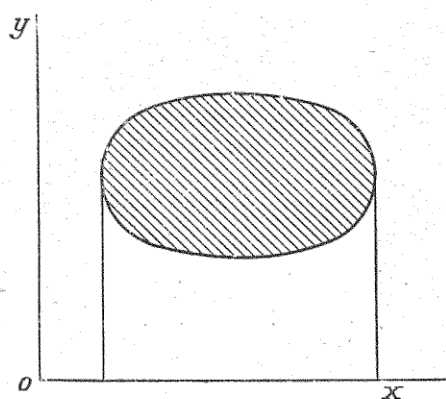


Fig. 14.

sentant les états successifs de la masse décrivant une certaine courbe dans un certain sens lorsqu'on lui fournit de la chaleur, il décrit la même courbe, mais en sens inverse lorsqu'on lui enlève cette chaleur de la même manière qu'on la fournissait.

84. Cycle de Carnot. — Le cycle de Carnot est souvent cité lorsqu'il est question de moteurs, car il jouit de propriétés particulières.

Il se compose :

- 1° D'une isothermique correspondant à une température T ;
- 2° D'une adiabatique, qui abaisse par détente la température à la valeur t ;
- 3° D'une isothermique correspondant à la température t ;
- 4° D'une adiabatique permettant de faire monter par compression, la température de t à T .

Le rendement d'un cycle de Carnot a pour expression:

$$\mathcal{R} = \frac{T - t}{T}.$$

On démontre que ce rendement est un maximum pour tous les cycles fonctionnant entre les températures T et t.

Considérons un moteur à explosion.

La température des gaz au moment de l'explosion atteint facilement 1500°, soit 1773° absolu.

La température des gaz de l'échappement est d'environ 250° soit 523° absolu.

Un cycle de Carnot fonctionnant entre ces deux températures aurait pour rendement :

$$\frac{1773 - 523}{1773} = 0,76.$$

Or, le rendement des meilleurs moteurs à explosion en travail indiqué n'est pas supérieur à 30 p. 100.

On voit donc quelle marge existe entre le cycle de Carnot et le cycle du moteur à explosion.

2. — CYCLE SPÉCIAL DU MOTEUR A EXPLOSION

85. Le cycle du moteur à explosion peut-il se rapprocher du cycle de Carnot. — Pendant longtemps, on a pensé qu'en construisant un moteur à explosion suivant d'aussi près que possible le cycle de Carnot, on améliorerait grandement son rendement.

Mais, peut-on le faire?

Tout d'abord, on peut considérer le cycle que décrit le moteur à explosion comme un cycle fermé.

A vrai dire, ce n'est pas la même masse de gaz qui sert aux transformations, puisqu'on rejette les gaz brûlés dans l'atmosphère; mais on peut, en somme, assimiler l'échappement des gaz au passage à la source froide comme on assimile l'explosion à un passage à la source chaude.

D'autre part, la masse de gaz qui évolue dans un cycle reste constante, mais sa nature change au moment de l'explosion.

Ceci est sans inconvénient, les chaleurs spécifiques étant sensiblement les mêmes pour tous les gaz.

Le cycle d'un moteur à explosion peut être considéré comme fermé, mais il n'est évidemment pas réversible au sens propre du mot.

Ce cycle se rapproche-t-il du cycle de Carnot?

86. Influence du refroidissement. — Tout d'abord, la prise de chaleur est loin de se faire suivant une isotherme, car la température au moment de l'explosion croît énormément.

Mais, de plus, une grande partie de la chaleur fournie par l'explosion (40 p. 100) traverse les parois du cylindre et se disperse dans l'eau de refroidissement.

Cette chaleur ne se transforme pas en travail. C'est de la chaleur perdue.

Or, le refroidissement des moteurs à explosion doit être énergique. Les huiles de graissage se décomposant à 250° environ, les parois intérieures du cylindre doivent être maintenues au-dessous de cette température.

En fait, dans la plupart des moteurs à explosion, le refroidissement est encore plus considérable, car la température de l'eau qui sert le plus souvent d'agent de refroidissement ne doit jamais dépasser 100° pour éviter la formation de poches de vapeur. En pratique, on ne dépasse même pas 70°.

Cette perte par la paroi étant très considérable, on a pensé qu'on améliorerait grandement le rendement du moteur en la réduisant le plus possible.

Il semblait donc qu'en diminuant l'intensité du refroidissement par l'emploi de lubrifiants résistant mieux aux températures élevées, on pouvait, toutes choses égales, augmenter le rendement du cycle.

87. Expériences de M. Boursin. — M. Boursin a fait à ce sujet, au Conservatoire des Arts et Métiers, une série d'expériences dans lesquelles il a étudié l'effet que produirait le refroidissement par un alliage fusible entre 150 et 200°.

Le même moteur, refroidi une première fois par l'eau, une seconde, par l'alliage Boursin, accusait dans le premier cas, à puissance égale, une consommation plus forte.

88. Théorie de M. Letombe. — Mais, d'autres faits viennent contredire ce résultat :

1° M. Hubert (*Revue des Mines*, 1902) rapporte qu'un moteur à explosion dont il a suivi les essais accusait le même rendement thermique alors que la circulation de l'eau était plus ou moins active.

2° Lorsque, dans un moteur, on réussit à diminuer les pertes de chaleur par les parois, on voit immédiatement la température de l'échappement augmenter et inversement.

3° Le rapport entre la surface et le volume d'un cylindre est :

$$\text{Surface} = 2 \frac{\pi D^2}{4} + \pi DL$$

$$\text{Volume} = \frac{\pi D^2 L}{4}$$

$$\frac{S}{V} = 2 \left(\frac{1}{L} + \frac{2}{D} \right).$$

Ce rapport diminue quand L et D augmentent.

Si la chaleur transmise par les parois était transformable intégralement en travail, cette chaleur étant d'autant plus grande que le rapport entre la surface et le volume du cylindre est plus grand, il en résulterait que les gros moteurs devraient avoir un meilleur rendement thermique que les petits.

Il n'en est rien.

M. Letombe, ayant étudié ces phénomènes, a été conduit aux conclusions suivantes :

La somme des chaleurs perdues par la paroi et par l'échappement est une quantité constante qui ne dépend que de la nature du cycle adopté, et par conséquent :

La chaleur qui traverse les parois est de la chaleur perdue au même titre que celle de l'échappement. Cette chaleur n'est pas transformable en travail.

89. Action de la paroi. — Cela tient à l'action spéciale de la paroi que M. Letombe explique ainsi :

Tout d'abord, il faut remarquer :

1° Que la transmission de la chaleur à travers une masse gazeuse se fait avec une très grande vitesse;

2° Que la transmission à travers une paroi métallique (paroi du cylindre) demande un temps bien supérieur à celui pendant lequel s'effectue une course du piston.

Il en résulte ceci :

Prenons un moteur à quatre temps fonctionnant normalement depuis un certain temps.

A la fin de l'échappement, la paroi interne du cylindre est à la température des gaz rejetés.

La chaleur emmagasinée dans cette paroi pendant la course d'échappement est en mouvement vers l'extérieur.

Pendant l'aspiration, la paroi cède un peu de chaleur au gaz frais.

Pendant la compression, la chaleur que dégage cette compression ne peut se perdre dans la paroi, car celle-ci reste à une température supérieure à celle du gaz à la fin de la compression.

Au moment de l'explosion, la pellicule interne de la paroi du cylindre se met immédiatement en équilibre de température avec les gaz.

Mais, comme la détente survient immédiatement et que cette détente qui produit du travail abaisse la température des gaz, la chaleur précédemment cédée à la paroi et qui n'a pu franchir qu'une très petite distance, se trouve attirée vers les gaz au fur et à mesure que la détente s'accroît.

Le flux de chaleur cédé par l'explosion et qui se mettait en marche vers l'extérieur est rappelé vers l'intérieur du cylindre.

Enfin, au moment de l'échappement, les gaz brûlés cèdent effectivement de la chaleur qui se répand dans la masse du cylindre.

En réalité, dit M. Letombe, la chaleur ne traverse la paroi que par pulsations dont la partie active ne correspond presque exclusivement qu'aux périodes d'échappement.

C'est pourquoi la somme des chaleurs perdues à l'échappement et par les parois est une constante.

Il est du reste bien établi qu'en installant un orifice d'échappement supplémentaire sur le moteur, orifice qui s'ouvre vers la fin de la course motrice, on facilite le refroidissement sans que la puissance du moteur soit sensiblement diminuée.

De plus, lorsqu'on relève les diagrammes sur un moteur depuis sa mise en marche, on constate que la pression maximum, faible au début, se relève peu à peu jusqu'à la valeur qui correspond au régime normal.

On constate aussi que les courbes qui correspondent à la détente se relèvent également peu à peu jusqu'à la position normale.

On peut même vérifier qu'à ce moment la courbe accuse une suite de pressions supérieures aux pressions théoriques.

L'influence de la paroi est ici caractéristique.

Lorsque le moteur est froid, il se produit des fuites de chaleur qui diminuent la pression explosive et les pressions successives de la détente, mais lorsque l'équilibre est établi, non seulement il ne se produit pas de fuite pendant la détente, mais encore la paroi cède de la chaleur aux gaz en élevant leur pression.

90. Cycle spécial du moteur à explosion. — Le moteur à explosion est donc loin de suivre un cycle de Carnot, mais l'étude que nous venons de faire montre que l'on peut considérer le cycle d'un moteur à explosion comme fermé et composé *théoriquement* :

1° D'une compression adiabatique (aucun échange de chaleur avec l'extérieur).

2° D'un apport de chaleur à volume constant (explosion instantanée).

3° D'une détente adiabatique (ce n'est pas rigoureusement exact, puisqu'en réalité la courbe accuse des pressions plus élevées que les pressions théoriques).

Quant à l'aspiration et à l'échappement, ces temps ne donnent lieu à la production d'aucun travail.

91. Formules fondamentales. — Les notations de M. Letombe permettent d'établir simplement les formules fondamentales du moteur à explosion.

Nous prendrons tout d'abord comme unité de volume le volume v de la chambre de compression :

$$v = 1.$$

Le rapport volumétrique de compression étant n_1 , le volume du cylindre sera n_1 .

Nous supposerons que nous étudions un moteur dans lequel le poids du gaz circulant à chaque cycle est de un kilogramme.

Nous prendrons comme unité de pression la pression atmosphérique H et comme unité de température la température absolue t_0 du mélange gazeux au moment où la compression va commencer.

$$H = 1$$

$$t_0 = 1$$

Par conséquent, si, au cours du calcul il est question d'une température (absolue) t_1 , cette température sera déterminée dans le calcul par un nombre K et la valeur exacte en degrés (absolus) de cette température sera $K \times t_0$.

De même, un volume V_1 sera donné par un nombre n et sa valeur réelle sera $n \times v$.

Avec ces notations, les formules fondamentales deviennent ce qui suit :

La formule fondamentale $pv = Rt$ devient, au début de la compression :

$$1 \times n_1 = R \times 1 \\ n_1 = R.$$

Si n , p , t sont les volume, pression et température qui correspondent à un point quelconque, on a :

$$pn = n_1 t.$$

La loi des transformations isothermiques :

$$pv = C^{\text{te}}$$

devient :

$$pn = n_1.$$

La loi des transformations adiabatiques :

$$pv^{\gamma} = C^{\text{te}}$$

devient

$$pn^{\gamma} = n_1^{\gamma}.$$

Pour une compression volumétrique = 5 et une température initiale de 15° , la pression à la fin de la compression sera d'environ 9 kg. et la température centigrade de 250° .

92. Apport de chaleur. — L'explosion étant théoriquement instantanée, elle se fait à volume constant puisque le piston ne bouge pas.

Donc la quantité de chaleur apportée est :

$$Q = c (T - t_c)$$

c , chaleur spécifique à volume constant (0,25 pour le mélange gazeux).

T , température à la fin de l'explosion.

t_c , température à la fin de la compression.

En posant

$$T - t_c = T_0 \\ Q = cT_0$$

T_0 est une constante pour un mélange gazeux déterminé.

93. Étude du cycle. — Considérons un cycle ordinaire à quatre temps.

Nous pouvons calculer avec les notations de M. Letombe les pression, volume et température du gaz à un moment quelconque du cycle⁽¹⁾.

Courbe de compression :

Soit p_c la pression à la fin de la compression.

t_c la température à la fin de la compression.

$$p_c = n_1^\gamma$$

$$t_c = \frac{n_1^\gamma}{n_1} = \frac{p_c}{n_1}$$

et pour un point quelconque de la courbe on aura :

$$p = \left(\frac{n_1}{n}\right)^\gamma = \frac{p_c}{n^\gamma}$$

$$t = p \frac{n}{n_1}$$

Explosion :

P pression d'explosion $= p_c + n_1 T_0$

T température d'explosion $= t_c + T_0 = t_c + \frac{Q}{c}$.

Si nous appelons N_1 le volume qu'occuperaient les gaz après détente complète (pression atmosphérique), on voit que

$$P = N_1.$$

La température au moment de l'explosion s'élèverait pour le cas cité plus haut, à 1 800° et la pression réelle à 28 kg.

Détente :

A la fin de la détente :

$$t' \text{ température} = \frac{T}{t_c}$$

$$p' \text{ pression} = \frac{P}{p}$$

Pour un point quelconque de la courbe :

$$p_d = \frac{P}{n^\gamma} \quad t_d = p_d \frac{n}{n_1}$$

(1) Les phénomènes qui se passent à l'intérieur du cylindre peuvent être compliqués par la présence d'une très légère couche d'huile entraînée par le piston. Cette huile se volatilise en empruntant de la chaleur au milieu ambiant et brûle en lui prenant de l'oxygène. Nous ne tiendrons pas compte de cette perturbation.

On voit que le rapport des pressions de compression et de détente qui correspondent à un volume donné n est :

$$\frac{p}{p_d} = \frac{p_c}{P} = C^{te}.$$

De même, les volumes de compression n_2 et de détente n_3 qui correspondent à des pressions égales, satisfont à l'égalité :

$$\frac{P}{n_3^{\gamma}} = \frac{p_c}{n_2^{\gamma}}.$$

d'où :

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{n_1}{N_1} = C^{te}.$$

Ces formules permettent de déterminer tous les points d'un cycle quand on connaît n_1 .

94. Calcul du rendement. — Le rendement

$$r_t = \frac{Q - q}{Q}$$

ou

$$r_t = 1 - \frac{q}{Q}.$$

Q , quantité de chaleur prise à la source chaude.

q , quantité de chaleur cédée à la source froide.

Nous avons

$$Q = cT_0 \quad (\text{chaleur fournie})$$

$$q = c(t' - 1) \quad (\text{chaleur reprise})$$

d'où

$$r_t = 1 - \frac{t' - 1}{T_0}.$$

Mais

$$t' = \frac{T}{t_c}$$

et

$$T = T_0 + t_c$$

donc

$$t' - 1 = \frac{T_0}{t_c}$$

d'où :

$$r_t = 1 - \frac{1}{t}$$

et comme

$$t_c = \frac{n_1^{\gamma}}{n}$$

on a :

$$r_c = 1 - \frac{n_1}{n_1'} = 1 - \frac{n_1}{p}$$

d'où les conclusions suivantes :

1° Le rendement thermique dépend uniquement de la compression.

2° Les températures n'interviennent pas dans les formules, d'où il résulte que pour avoir le maximum de puissance il faut introduire le mélange à la plus basse température possible pour augmenter la masse de gaz admise.

3° Le rapport $\frac{n_1}{n_1'}$ diminue lorsque n_1 augmente, car γ est plus grand que 1.

Donc :

Le rendement augmente avec la compression.

Ces conclusions sont absolument vérifiées par la pratique.

Ainsi donc :

Le moteur à explosion suit un cycle tout différent du cycle de Carnot.

On peut considérer la compression et la détente comme des transformations adiabatiques, l'action de la paroi produisant dans cette dernière un décalage dans l'apport de chaleur qui relève la courbe de détente.

Il résulte de là que *l'amélioration du rendement thermique est liée à l'augmentation de la compression.*

95. Observations. — Mais toute la théorie précédente ne peut être vraie que lorsqu'il s'agit de moteurs dans lesquels la production de chaleur a lieu pendant un temps extrêmement court et est immédiatement suivie de la détente.

Si la combustion, au lieu d'être instantanée, se prolonge assez pour qu'un mouvement de chaleur se produise vers l'extérieur, il y aura vraiment fuite de chaleur par la paroi pendant la course motrice du piston. Cette fuite sera d'autant plus accentuée que la combustion durera plus longtemps.

C'est donc grâce à la *rapidité* avec laquelle les phénomènes s'accomplissent, que le rendement des moteurs à explosion n'est pas affecté par l'action des parois, d'où nécessité de diminuer la durée du cycle et par conséquent *d'accroître la vitesse linéaire du piston.*

96. Moyens d'accroître le rendement thermique. — De l'étude précédente nous concluons donc qu'il est nécessaire pour augmenter le rendement thermique :

1° De porter la compression au maximum pratiquement réalisable⁽¹⁾ ;

2° D'accroître les vitesses linéaires du piston ;

3° D'accroître la rapidité de l'explosion.

A ces trois conditions il faudrait ajouter une quatrième : porter la détente à son maximum. Mais si l'on peut s'efforcer, par des dispositions mécaniques appropriées, de réaliser les trois premières conditions, la dernière est jusqu'à présent irréalisable. Dans les moteurs actuels, la détente est fatalement limitée, puisque le volume des gaz détendus est égal à celui des gaz frais (volume du cylindre).

Nous tirerons en outre d'autres conclusions intéressantes :

On voit tout d'abord qu'on peut calculer largement le refroidissement ; on perd pratiquement un peu sur le rendement thermique, mais on accroît le rendement mécanique et la sûreté du fonctionnement.

On voit également qu'il y a intérêt à diminuer à volume égal la surface de la chambre de compression et c'est ce qui explique en partie le bon rendement des moteurs à culasse hémisphérique.

Enfin il est indispensable d'organiser le moteur pour que les diverses opérations qui se passent dans un cycle se fassent dans les conditions prévues dans l'étude théorique : que le mélange gazeux arrive facilement, qu'il soit enflammé instantanément, que sa composition soit celle qui correspond à la plus grande quantité de chaleur dégagée, etc.

On tiendra compte dans l'établissement d'un moteur d'automobile, des données exprimées ci-dessus. C'est en les remplissant qu'on diminuera la consommation de carburant à puissance égale.

Toutefois on n'oubliera pas que la réalisation de cette condition, si intéressante qu'elle soit, n'est pas tout dans le moteur d'automobile et que celui-ci doit être, non seulement économique, mais encore léger, régulier, facile à conduire et souple. On sera donc amené, pour réaliser ces dernières conditions, à modifier les dispo-

(1) Le mélange gazeux s'échauffe quand on le comprime ; quand on dépasse une certaine compression l'échauffement est suffisant pour l'enflammer avant le moment fixé pour l'explosion. Il se produit un « auto-allumage ».

sitions qu'exigerait la recherche seule du rendement thermique maximum⁽¹⁾.

97. Action sur le rendement mécanique. — Le rendement mécanique peut être plus facilement augmenté que le rendement thermique.

La perte de travail vient en très grande partie des frottements et de l'influence des forces d'inertie.

Les frottements sont de deux sortes : frottements et chocs dans les paliers et les articulations, frottement du piston sur le cylindre, dû, pour la plus grande partie, à l'obliquité de la bielle (§ 133). Un bon graissage, un calcul exact des dimensions à donner aux pièces en contact diminuent les frottements.

Quant aux forces d'inertie, elles interviennent comme il est indiqué ci-dessous. La meilleure manière de les combattre est de diminuer le poids des pièces dont le mouvement les fait naître.

3. — FORCES D'INERTIE

98. Inertie. — L'inertie est une propriété de la matière. Elle se caractérise par ce fait qu'un corps ne peut de lui-même se mettre en mouvement ou changer la nature de son mouvement.

99. Mouvement. — Le mouvement d'un corps est caractérisé par : sa trajectoire, qui est la ligne qu'il décrit, et la manière dont il se meut sur cette trajectoire.

Le mouvement est dit :

<i>rectiligne</i> ,	si la trajectoire est une droite,
<i>curviligne</i> ,	— courbe,
<i>circulaire</i> ,	— circonférence.

Il est dit :

uniforme, si le corps parcourt des espaces égaux dans des temps égaux.

L'espace parcouru dans l'unité de temps est la vitesse du corps.

varié, dans le cas contraire.

(1) C'est ainsi que, par exemple, on adopte pour régler la vitesse du moteur le procédé simple qui consiste à augmenter ou diminuer le volume des gaz admis, procédé qui, comme nous le verrons, n'est pas le meilleur au point de vue rendement.

100. Vitesse dans le mouvement varié. — Supposons qu'au bout de une, puis de deux, etc..., puis de n unités de temps, le mouvement du corps devienne uniforme.

Soit v_1, v_2, \dots, v_n les vitesses de ces mouvements uniformes.

Les quantités v_1, v_2, \dots, v_n sont dites les vitesses du corps aux instants 1, 2, ... n .

101. Vitesse angulaire. — Supposons que le corps décrive une circonférence d'un mouvement uniforme, on appelle vitesse angulaire l'arc décrit dans l'unité de temps. Cet arc peut être d'ailleurs égal à une ou plusieurs circonférences.

On définit comme ci-dessus la vitesse angulaire à l'instant n si le mouvement du corps est varié.

102. Représentation de la vitesse. Accélération. — Lorsqu'un corps suit une trajectoire quelconque, sa vitesse en un point est représentée par une droite tangente à la trajectoire au point considéré, dirigée dans le sens du mouvement, et de longueur égale à la « vitesse » précédemment définie.

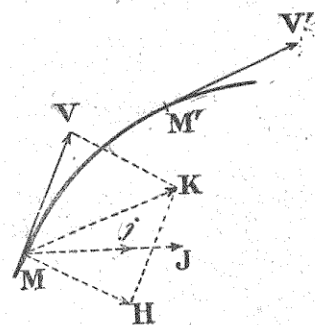


Fig. 15.

Considérons un corps (fig. 15), que nous supposons réduit à un point matériel M et supposons qu'il décrive une trajectoire quelconque d'un mouvement quelconque.

En M , la vitesse est représentée par la droite MV . Au bout d'un temps t , le point est arrivé en M' et sa vitesse est alors $M'V'$.

Menons par M une droite MK parallèle à $M'V'$ de même grandeur et de même sens.

MK peut être considérée comme la résultante de MV et d'un certain vecteur MH , et si l'on considère des points M' se rapprochant de M jusqu'à se confondre avec M , la droite MH variera en position jusqu'à une position limite MJ .

Si, en même temps, on considère le rapport $\frac{MH}{t}$, ce rapport change de valeur au fur et à mesure que M' se rapproche de M .

A la limite, c'est-à-dire lorsque M' est en M , le temps $t = 0$ et le rapport $\frac{MH}{t}$ a une certaine valeur j .

Portons sur la droite limite MJ , et à partir de M vers J cette grandeur j .

La droite dirigée Mj est appelée l'accélération du mouvement au point M .

103. — Dans un *mouvement rectiligne uniforme*, l'accélération est nulle.

Dans un *mouvement rectiligne varié*, l'accélération en un point est constante ou variable, mais toujours dirigée suivant la droite trajectoire. Lorsque l'accélération est constante, le mouvement est dit uniformément varié.

Mouvement circulaire uniforme. — Dans ce mouvement, l'accélération est dirigée vers le centre du cercle.

Sa valeur constante est égale à

$$\omega^2 r$$

ω , étant la vitesse angulaire;
 r , le rayon du cercle.

104. Proportionnalité des forces aux accélérations. Masse. — En vertu de l'inertie de la matière, un corps ne peut de lui-même se mettre en mouvement.

Le mouvement est déterminé par l'action d'une force.

On vérifie par expérience que lorsqu'une force constante en grandeur et direction agit sur un corps *libre* de se mouvoir sous l'action de cette force, le corps prend un mouvement uniformément varié dont l'accélération est proportionnelle à l'intensité de la force.

La trajectoire est rectiligne et se confond avec la direction de la force.

Le rapport de la force F à l'accélération j est appelé la masse m du corps.

Il est facile de calculer la masse d'un corps. On a pu en effet mesurer l'accélération due à la pesanteur (9,81 à Paris).

Nous savons d'autre part que la pesanteur est une force et que sa valeur est exprimée par le *poids* du corps.

La masse d'un corps est donc égale au quotient de son poids par 9,81.

105. Cas d'un corps soumis à des liaisons. — Lorsque le corps auquel une force est appliquée *n'est pas libre*, son mouvement dépend d'une part de la grandeur et de la direction de la force qui le sollicite, d'autre part de la liaison qui l'empêche de suivre exactement l'impulsion qu'il reçoit de la force.

C'est ainsi par exemple que le bouton de la manivelle, sollicité immédiatement après avoir passé le point mort haut par une force dirigée presque verticalement, se dirige, par suite de sa liaison à l'axe par la manivelle, dans une direction presque perpendiculaire à celle de la force.

106. Force d'inertie. — Tout corps animé d'un mouvement autre que le mouvement *rectiligne uniforme* doit être considéré, *par le fait seul de ce mouvement*, comme le siège d'une force, appelée *force d'inertie* égale en grandeur au produit de la masse du corps par l'accélération et dirigée en sens contraire de cette accélération.

Or dans un moteur à explosion tous les points mobiles sont animés de mouvements soit rectilignes *alternatifs* soit à *trajectoire circulaire* ou *curviligne*.

Le mouvement de ces points fera donc naître des forces d'inertie.

Prenons d'autre part un corps en mouvement sous l'action d'une force et supposons qu'une autre force agisse à un certain moment sur le même corps. Il y a variation de l'accélération, donc modification de la force d'inertie primitive. On peut également dire que la modification du mouvement créée par la nouvelle force fait naître une seconde force d'inertie qui vient modifier la première.

On voit en particulier que toute *variation* de la force même qui cause le mouvement donne naissance à une force d'inertie nouvelle. On considérera donc dans ce qui va suivre :

1° Les forces d'inertie dues au mouvement des pièces, celui-ci étant supposé régulier;

2° Les forces d'inertie créées par les irrégularités de l'action motrice.

107. Masses en mouvement. — Parmi les principales masses en mouvement, dans un moteur à explosion ⁽¹⁾, nous trouvons :

Le *piston*, animé d'un mouvement alternatif;

La *manivelle*, animée d'un mouvement circulaire;

(1) Nous envisageons un moteur vertical, le plus souvent adopté.

La *bielle*, animée d'un mouvement complexe, une extrémité suivant le mouvement de la manivelle, l'autre celle du piston.

Piston. — Partant du point mort haut, le piston se dirige vers le bas, il accélère sa vitesse jusqu'au milieu de sa course descendante; la force d'inertie qu'il met en jeu est donc dirigée vers le haut. Elle se transmet par la bielle et la manivelle et l'arbre au châssis qu'elle tend à tirer vers le haut.

Un peu après le milieu de sa course, le piston ralentit son allure et arrive au point mort bas avec une vitesse nulle. Tout se passe comme si une force intervenait pour retarder le mouvement. La force d'inertie sera opposée à cette force retardatrice, donc dirigée de haut en bas, elle poussera le châssis vers le bas.

De même pendant la course ascendante, la force d'inertie sera vers le bas dans la première moitié, vers le haut dans la seconde.

Ces forces d'inertie sont donc alternatives.

A tout moment la force d'inertie sera égale à la *masse* du piston, multipliée par l'accélération au moment considéré.

Manivelle. — Supposons, comme dans le cas précédent, le mouvement établi et faisons abstraction de l'effort variable exercé par la bielle sur l'extrémité de la manivelle.

Nous supposons donc que chaque point de la manivelle est animé d'un mouvement circulaire uniforme. Or nous savons que dans ce mouvement l'accélération est égale à $\omega^2 r$ et dirigée vers le centre, c'est-à-dire vers l'arbre.

Si nous appelons m la masse concentrée autour d'un point de la manivelle, ce point sera le siège d'une force d'inertie ayant pour expression $m\omega^2 r$ et dirigée *vers l'extérieur* du cercle décrit par ce point.

Si en particulier nous supposons la masse M de la manivelle concentrée autour de son centre de gravité, la manivelle sera soumise à une force d'inertie centrifuge égale à

$$M\omega^2 r$$

ω , vitesse angulaire;

r , distance qui sépare le centre de l'arbre du centre de gravité de la manivelle.

Bielle. — Le mouvement de la bielle est, nous l'avons vu, très compliqué, nous y reviendrons dans le chapitre concernant l'équilibre, mais il est facile de se rendre compte que tous les points

de la bielle sont le siège des forces d'inertie, les unes se rapprochant des forces centrifuges, les autres des forces alternatives.

108. Irrégularités des forces d'entraînement. — Considérons maintenant les forces qui créent le mouvement dont nous venons d'étudier les effets.

L'action de ces forces n'est pas régulière. Il n'y a qu'une course motrice par un ou deux tours (suivant que le moteur est à deux ou quatre temps) mais de plus la force appliquée au bouton de la manivelle varie pendant la durée même de la course motrice. Il est facile de voir qu'au point mort haut l'action motrice *de la bielle sur la manivelle* est nulle, puisque la bielle et la manivelle sont dans le prolongement l'un de l'autre, cette action croît ensuite jusqu'à un maximum et décroît enfin jusqu'à devenir nulle au point mort bas.

En même temps, la pression qui s'exerce sur le fond du piston, pression qui est la cause du mouvement du moteur, varie constamment pendant toute la durée du cycle, déterminant une irrégularité du couple moteur.

Toutes ces *variations* de l'effort moteur déterminent dans les organes en mouvement, des forces d'inertie, indépendantes de celles envisagées au paragraphe précédent et dont l'action se superpose à la leur. Toutes ces forces se transmettent à l'arbre du moteur et par cet arbre au châssis du véhicule.

Nous avons supposé jusqu'à présent que le moteur que nous étudions marchait normalement. Il est facile de voir que toute irrégularité *fortuite*, modifiant le régime du moteur, fera naître des forces d'inertie qui se répercuteront comme les précédentes.

Les forces d'inertie ont pour résultat la fatigue de l'arbre et des trépidations, très nuisibles aux différents organes du moteur et de la voiture, et désagréables aux voyageurs.

Nous verrons par la suite comment on les atténue ; les principaux procédés sont :

La réduction du poids des pièces dont le mouvement les fait naître, puisque toutes les forces d'inertie sont proportionnelles à la masse du corps en mouvement.

L'emploi de moteurs à cylindres multiples, conjugués de telle manière que les forces d'inertie qui prennent naissance dans le mécanisme afférent à chacun d'eux, se balancent dans l'ensemble.

CHAPITRE IV

RÉALISATION DU MOTEUR A EXPLOSION

1. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT. — Diagrammes réels. — Modification des temps du cycle. — Avances et retards. — Allumage.

2. VARIATIONS DE LA PUISSANCE D'UN MÊME MOTEUR. — Caractéristique. — Vitesse de calage. — Vitesse de régime. — Conclusions générales de l'étude de la puissance du moteur.

1. — ANALYSE DU FONCTIONNEMENT

109. Étude des diagrammes réels. — Si nous faisons fonctionner un moteur établi comme nous l'avons dit au paragraphe 9 et que nous relevions son diagramme, nous constatons que celui-ci diffère d'une manière sensible du diagramme théorique.

Cela tient à ce que les diverses opérations qui doivent se passer pendant la durée du cycle ne s'accomplissent pas en réalité comme nous l'avions supposé au début de cette étude.

110. Différences entre le diagramme théorique et le diagramme réel. — Supposons (nous verrons par la suite comment on peut y arriver) que les organes fournissant le mélange, produisant l'allumage, etc., fonctionnent dans les meilleures conditions et examinons le diagramme relevé sur notre moteur.

Nous voyons que : 1° L'aspiration ne se fait pas rigoureusement à la pression atmosphérique.

En réalité, les gaz mettent pour combler la dépression, un temps court, mais cependant appréciable vu la vitesse avec laquelle se déplace le piston.

La pression à l'intérieur du cylindre tombe donc au-dessous de la pression atmosphérique, d'où production d'un travail résistant.

2° L'explosion ne se produit pas au moment voulu. Elle commence bien comme nous l'avons prévu, au moment où le piston passe au point mort haut, mais comme elle met pour se propager un temps appréciable en comparaison avec le temps que dure la course descendante du piston, elle ne donne son plein effet que lorsque le piston est déjà descendu d'une certaine longueur.

Il en résulte que dans ce moteur :

a) La pression maximum est inférieure à la pression théorique :

b) Le maximum de pression se produit bien après que le piston a passé le point mort.

On a ainsi perdu le travail représenté par la différence (A-B) des aires hachurées sur la figure 16.

3° L'échappement ne se fait pas à la pression atmosphérique, car les gaz sont à une certaine pression (5 kg.

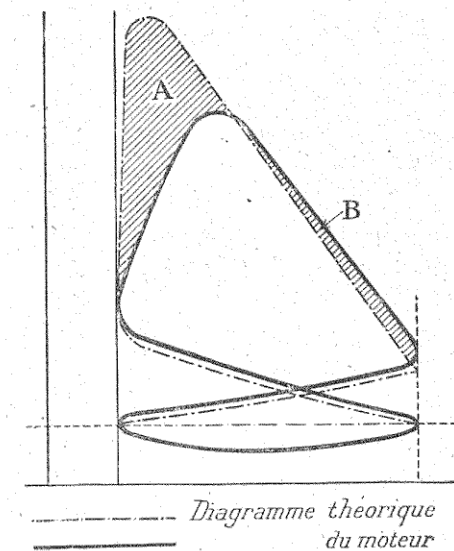


Fig. 16.

environ) au commencement de l'échappement et la pression ne baisse qu'au fur et à mesure que les gaz sortent.

Il y a donc encore production d'un travail résistant.

4° Enfin, le diagramme est arrondi à tous les angles en raison de la continuité des variations qui se font plus ou moins vite, mais jamais instantanément.

On conçoit facilement que les pertes de travail qui résultent de ces mauvaises conditions de fonctionnement sont d'autant plus grandes que le moteur tourne plus vite.

Il faut donc pour augmenter, à dimensions égales, c'est-à-dire à poids égal, la puissance d'un moteur, réduire sinon supprimer toutes ces pertes. On atteint ce but en modifiant la durée des temps

du cycle, c'est-à-dire en avançant ou retardant le moment où les opérations commencent ou cessent.

141. Admission. — L'orifice d'admission sera ouvert, non pas au moment où le piston passe au point mort haut, mais un peu après.

On donne ainsi un léger retard à l'ouverture de l'admission.

La dépression est ainsi plus considérable au moment de l'ouverture et les gaz se précipitent dans le cylindre avec une vitesse plus grande.

Cette avance doit théoriquement varier avec la vitesse angulaire du moteur; en pratique, on lui donne la valeur qui correspond à la vitesse de régime normal.

Pour profiter entièrement de la force d'inertie qui tend à entretenir le mouvement des gaz, on ne ferme pas non plus l'orifice d'admission au moment où le piston passe au point mort bas; on donne un assez grand retard à la fermeture de l'admission.

Tout d'abord, le piston a un déplacement extrêmement faible pendant que le bouton de manivelle décrit un arc assez sensible autour du point mort. Mais, alors même que le piston commence à monter, les gaz emportés par leur élan (force d'inertie) continuent à entrer dans le cylindre et se tassent derrière le piston.

On a ainsi toutes les chances de remplir le cylindre aussi complètement que possible de gaz frais, ce qui :

1° Diminue le travail résistant;

2° Prépare une bonne compression.

Le retard à l'ouverture de l'admission permet aussi d'éviter le mélange de gaz frais et des gaz brûlés dans les moteurs où l'arrivée et la sortie se font à proximité du cylindre par un seul conduit.

Bien entendu, les orifices d'admission et les tuyauteries qui y aboutissent doivent être tels (disposition, grandeur) que l'arrivée du gaz se fasse le plus facilement possible.

Il en est de même des orifices et tuyauteries d'échappement qui doivent n'apporter aucun obstacle à l'évacuation des gaz brûlés.

142. Compression. — La théorie, l'étude des diagrammes et la mesure des puissances montrent que, toutes choses étant égales :

L'augmentation de la compression diminue la durée de l'explosion et augmente la pression explosive.

L'aire du diagramme et par conséquent la pression moyenne et le travail indiqué en sont donc augmentés.

Nous savons qu'on appelle compression volumétrique le rapport du volume total du cylindre V au volume de la chambre de compression e :

n_1 étant cette compression volumétrique

$$n_1 = \frac{V}{e}.$$

Si l est la course du piston

D son alésage

$$V = \pi \frac{D^2}{4} l + e.$$

Nous savons aussi que le rapport des *pressions*, au commencement et à la fin de la compression, est égal à

$$\left(\frac{V}{e}\right)^{\gamma} = n_1^{\gamma}.$$

Ce rapport est donc encore plus grand que la compression volumétrique.

Pour augmenter la compression, on emploie deux moyens :

1° On assure l'étanchéité du cylindre, tant du côté du piston que du côté des orifices divers qui sont percés dans sa paroi.

2° On réduit le volume de la chambre de compression.

Dans les moteurs d'étude on fait varier facilement ce volume. Il suffit, par exemple, de visser plus ou moins un bouchon dans la culasse du cylindre.

Dans les moteurs d'automobile, la compression ne peut être considérable.

Cette compression dégage de la chaleur et la température des gaz devient rapidement telle que le mélange gazeux s'enflamme spontanément.

Ces allumages anticipés sont dangereux pour le mécanisme, puisqu'ils provoquent un retour en arrière de la manivelle.

On prendra donc la plus haute valeur de la compression compatible avec un bon fonctionnement (5 kg. environ).

Remarquons à ce sujet que les dépôts charbonneux (combustion avec décomposition de l'huile) augmentent la compression en réduisant le volume de la culasse.

113. Explosion et détente. — Il y a intérêt à ce que l'explosion se produise très vite et donne le maximum de pression.

La comparaison du diagramme théorique et du diagramme relevé sur notre moteur montre que si l'allumage n'est pas instantané, il y a perte de travail notable, mais de plus, si l'allumage est lent, il se fait mal et il peut même arriver, dans les moteurs à grande cylindrée, que les gaz ne sont pas entièrement brûlés au moment où l'échappement commence.

Voyons donc comment on peut accélérer l'explosion.

114. Allumage. — Tout d'abord les conditions qui favorisent la rapidité de l'explosion sont :

1° En ce qui concerne le mélange gazeux :

Réaliser un mélange très volatil et très homogène. L'homogénéité est favorisée par une grande vitesse du piston qui brasse énergiquement le mélange.

Le mélange devra contenir des proportions d'air et de combustible qui se rapprochent le plus possible de celles qui correspondent à une combinaison chimique complète.

Il a toutefois été constaté que la pression explosive était augmentée lorsque la proportion d'air était très légèrement supérieure à celle demandée ci-dessus. Cette pression serait encore accrue et la durée de l'explosion diminuée lorsque cet air additionnel est remplacé par des gaz de l'échappement.

La masse de gaz devra ne pas être trop considérable, car la combustion se propage de proche en proche et plus la masse est grande, plus longue est cette propagation. Il y a donc intérêt lorsque la masse est considérable, à l'allumer en deux points (double allumage).

2° En ce qui concerne la compression :

Réaliser la plus grande compression possible afin d'augmenter la pression explosive et la rapidité de l'explosion.

3° En ce qui concerne le mode d'allumage :

Placer le ou les inflammateurs au milieu des gaz frais. Dans un grand nombre de moteurs, l'inflammateur (bougie) est placée à proximité de la soupape d'aspiration.

Utiliser un procédé d'inflammation tel que le mélange soit sûrement et vite enflammé, bien qu'il soit fortement comprimé et qu'il contienne un peu d'air ou de gaz brûlés en excédent.

Les procédés d'allumage par étincelle électrique sont à ce point de vue supérieurs aux autres, car ils ajoutent à la chaleur de l'étincelle, le choc que produit son passage. La résistance au passage de l'étincelle est d'ailleurs d'autant plus grande que la compression est plus élevée, d'où nécessité d'employer de hautes tensions.

Mais la réalisation de ces conditions n'est pas encore suffisante, l'allumage est encore trop long. Commencé au moment même où le piston passe au point mort, il dure encore un temps appréciable de la course motrice.

On est donc obligé, si l'on veut que la combustion se passe presque entièrement lorsque le piston est dans le voisinage du point mort haut, de la provoquer avant que le piston y soit arrivé. On donne ainsi ce qu'on appelle « avance à l'allumage ».

Étude de l'avance à l'allumage. — L'avance à l'allumage doit être proportionnée à la vitesse du moteur. Plus le moteur tourne vite, plus le piston se déplace rapidement, plus l'avance à l'allumage doit être considérable.

Si l'avance est exagérée, l'explosion commençant avant le point mort tend à repousser le piston, ce qui détermine des chocs que ressentent les bielles et coussinets : le moteur cogne. A la mise en marche, l'avance trop considérable est cause de retours à la manivelle qui peuvent être dangereux.

On voit donc que si, partant de 0, l'avance à l'allumage augmente, la puissance du moteur et par conséquent sa vitesse pour une charge donnée, augmente. Inversement, si l'on diminue l'avance, la vitesse diminue.

Il y a donc là un procédé de réglage de la vitesse du moteur qui a servi autrefois, mais qui est maintenant abandonné, car, pour obtenir un bon rendement, ce n'est pas la vitesse du moteur qui doit être subordonnée à l'avance, c'est l'avance qui doit être réglée d'après la vitesse du moteur.

Les figures 17 et 18 donnent des exemples de diagrammes obtenus avec des moteurs dans lesquels l'avance à l'allumage a été mal réglée.

115. Détente. — Ce n'est pas tout d'avoir une pression explosive élevée, il faut encore profiter entièrement de la pression des gaz. L'idéal serait de détendre complètement les gaz résultant de la

combustion et de ne les rejeter dans l'atmosphère que lorsqu'ils seraient à la pression atmosphérique. Mais les gaz auraient alors un volume considérable et dépassant de beaucoup le volume du cylindre. Force nous est d'expulser les gaz alors qu'ils possèdent encore une certaine pression, laquelle est donc inutilisée.

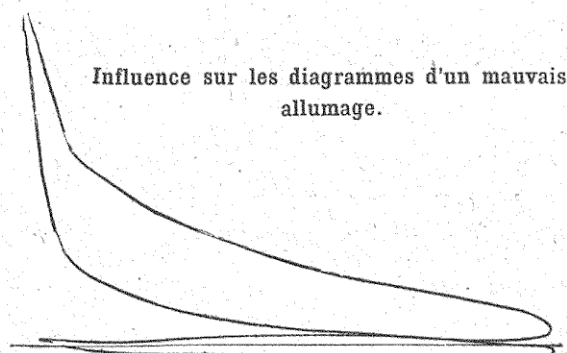


Fig. 17. — Avance à l'allumage trop considérable.



Fig. 18. — Avance à l'allumage trop faible. (La denture des courbes est due aux oscillations propres de la membrane du manographe.)

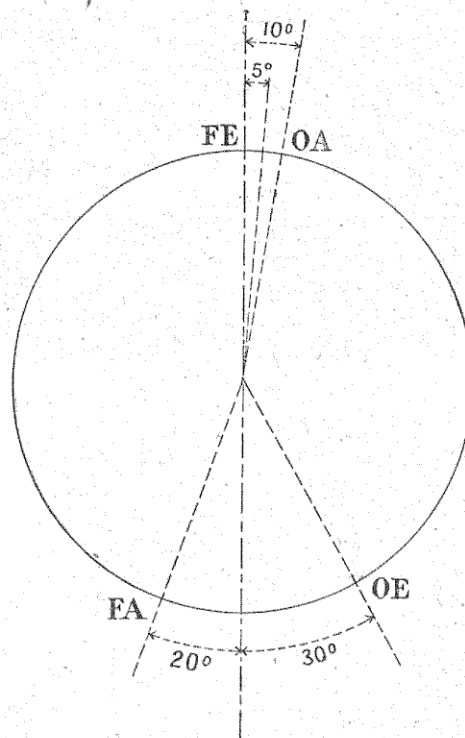
Rappelons toutefois que le travail dû à la pression des gaz pendant leur détente, est un peu augmenté par suite de l'action de paroi qui restitue aux gaz pendant leur détente une partie de la chaleur prélevée sur eux au moment même de l'explosion.

446. Échappement. — La détente ne pouvant être poussée très loin, les gaz ont, au moment où le piston arrive à son point mort bas, une pression supérieure à la pression atmosphérique.

Cette pression *s'oppose* au mouvement du piston vers le haut pendant la course d'échappement. Pour diminuer cette résistance, on donne au moteur de l'avance à l'échappement, c'est-à-dire que l'on fait commencer l'échappement avant que le moteur arrive au point mort bas.

En même temps que l'on fait ainsi tomber la pression, on augmente la durée pendant laquelle l'orifice d'échappement est ouvert. On favorise ainsi l'expulsion complète des gaz brûlés.

L'avance à l'échappement entraîne la perte d'un peu (très peu) de travail moteur, mais cette perte est largement regagnée par la



A : Admission. E : Échappement. O : Ouverture. F : Fermeture.

Fig. 19. — Exemples d'avances angulaires.

suppression d'une grande partie du travail résistant qui se produirait pendant la course d'échappement.

On donne également un peu de retard à la fermeture de l'échappement pour obtenir une évacuation plus complète, mais ce retard ne peut être considérable, car il faut que l'échappement soit fermé au moment où commence l'admission suivante. *

117. Mesure des avances. — On exprime les avances de la façon suivante :

1° En mesurant la valeur de l'arc qui sépare le point où se fait l'ouverture
la fermeture } du point mort correspondant (fig. 19).
l'allumage }

2° En fonction de la course du piston : en évaluant le rapport entre la fraction de course que le piston doit encore accomplir avant d'atteindre le point mort et la course totale.

118. Considérations sur le maximum de puissance. — De cette étude, il résulte :

1° Que l'augmentation de puissance dépend de l'organisation générale du moteur et que *tous les organes* qui le composent doivent être judicieusement établis.

2° Que les avances et les retards devraient varier avec la vitesse du moteur. Or, si les moteurs portent, en général, une commande d'avance à l'allumage réglable, les avances et retards dans la distribution sont fixes et correspondent à une vitesse déterminée du moteur.

Il en résulte qu'aux autres vitesses la puissance donnée par le moteur s'écartera de plus en plus de la puissance qu'il développerait s'il suivait le diagramme théorique.

2. — VARIATIONS DE LA PUISSANCE D'UN MÊME MOTEUR

119. Courbe caractéristique. — Nous avons vu précédemment que la puissance d'un moteur fonctionnant d'après le diagramme théorique varie proportionnellement avec sa vitesse. Dans la pratique et pour les raisons que nous venons de voir, la loi de variation est plus complexe.

On peut l'étudier au moyen de courbes appelées caractéristiques.

Faisons tourner un moteur dans des conditions déterminées et relevons pour chaque vitesse la puissance correspondante.

En portant (fig. 20) suivant Ox les vitesses angulaires du moteur considéré et suivant Oy la puissance effective correspondante à chaque vitesse, nous obtiendrons une courbe ayant la forme ci-contre.

On pourrait, remarquons-le, tracer une infinité de courbes de puissance correspondant chacune à des circonstances de fonctionnement différentes.

Si nous supposons, par exemple, que la vitesse du moteur se règle par la variation de la quantité de gaz admise à chaque aspi-

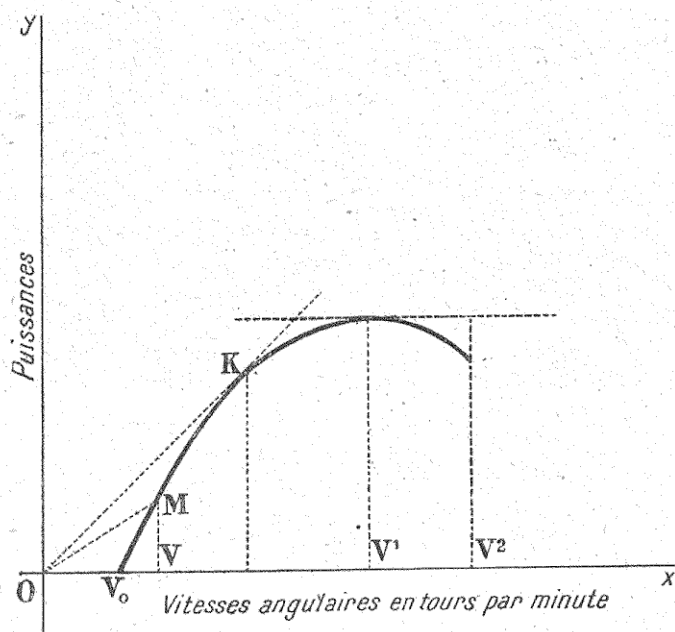


Fig. 20. — Caractéristique.

ration, on conçoit qu'on peut laisser la vitesse constante en admettant dans le cylindre une masse moindre de gaz frais, mais en réduisant en même temps le travail demandé.

A chaque vitesse peuvent donc correspondre une infinité de puissances. La courbe obtenue en portant suivant Oy la puissance maxima du moteur correspondant à chaque vitesse, est appelée sa *caractéristique*.

En étudiant cette courbe (fig. 20) on remarque :

1° Qu'il existe une vitesse V_0 pour laquelle la puissance disponible est nulle ;

C'est la vitesse de calage.

2° Que la puissance passe par un maximum pour une certaine vitesse V_1 ;

3° Que, pour des vitesses plus considérables, la puissance disponible diminue très rapidement;

4° Qu'enfin la vitesse ne peut dépasser une certaine valeur V_2 .

En pratique, on n'utilise le moteur que dans les vitesses qui entourent le maximum de puissance.

Le couple moteur est le rapport de la puissance à la vitesse angulaire. C'est, en somme, la tangente de l'angle MOV .

$$C = \frac{MV}{\Omega V}.$$

On voit donc qu'en pratique, le couple moteur augmente jusqu'au point K, puis il diminue.

Cette variation du couple moteur tient :

1° Aux raisons exposées au § 118 — 2°.

2° A ce que les quantités de gaz admises ne sont pas constantes. Elles décroissent lorsque la vitesse dépasse une certaine valeur par suite du peu de temps d'ouverture des orifices, des changements de sens que subit le flux gazeux, etc.... La masse des gaz et leur compression diminuent, ce qui est doublement fâcheux.

3° A ce que le refroidissement du cylindre enlève aux allures lentes une plus grande quantité de chaleur, puisque les gaz restent en contact plus longtemps avec les parois refroidies.

4° A ce que les forces d'inertie prennent des valeurs d'autant plus grandes que la vitesse angulaire est plus considérable.

Peu sensibles aux allures moyennes, elles croissent ensuite rapidement.

5° A ce que les pertes de puissance résultant des frottements (pertes organiques) croissent avec la vitesse.

120. Étude des caractéristiques. — L'examen des caractéristiques permet, soit la comparaison de deux moteurs, soit l'étude des variations de puissance causées par telle ou telle modification au même moteur.

On a vu qu'on avait intérêt à employer des moteurs à grande vitesse de rotation. L'étude des caractéristiques permettra de choisir ceux qui, aux grandes vitesses, possèdent le couple moteur

maximum. On est d'ailleurs limité dans la recherche des grandes vitesses :

1° Il ne faut pas atteindre les vitesses qui seraient dangereuses pour les pièces en mouvement par suite de leur inertie (forces centrifuges en particulier).

2° Il ne faut même pas dépasser, dans le cas des voitures d'usage courant, celles qui ne seraient pas compatibles avec une bonne conservation du matériel.

Il faut aussi considérer que l'augmentation de vitesse angulaire augmente encore la vitesse linéaire du piston et que s'il est utile que celle-ci soit grande, encore faut-il que l'admission, l'allumage et l'échappement aient le temps de se produire.

121. Conclusions de l'étude générale du moteur. — De l'étude précédente il résulte que tout moteur bien établi devra réaliser les conditions suivantes :

1° Réaliser un entraînement régulier (emploi des moteurs polycylindriques);

2° Obtenir des admissions complètes et homogènes;

3° Obtenir un allumage puissant et précis;

4° Augmenter le plus possible la compression;

5° Augmenter la vitesse linéaire du piston;

6° Réduire les effets de l'inertie des pièces en mouvement;

7° Réduire au minimum les pertes dans le moteur (augmenter le rendement mécanique).

La réalisation de ces conditions dépend *tant de la construction même du moteur que des dispositifs adjoints* (préparation et dosage du mélange, allumage, graissage, etc...).

Signalons, à propos de la construction des moteurs, l'influence d'une longue course.

Nous avons déjà vu qu'elle permettait, à cylindrée et vitesse angulaire égales, d'obtenir une plus grande vitesse linéaire du piston.

Cette vitesse favorisant l'allumage, on pourrait d'ailleurs employer avec ces moteurs des mélanges plus pauvres et par conséquent augmenter la compression, ce qui favoriserait le rendement thermique.

Elle permet, de plus, la réduction du poids des pièces en mouvement.

Comparons, en effet, un moteur de 98×98 et un moteur de 78×156 .

Ces deux moteurs ont à très-peu près même cylindrée.

Dans le premier, la surface du piston est d'environ	75 cm ²
Dans le deuxième	47 cm ²
La pression explosive étant de 30 kg. par centimètre carré, le premier piston supportera, au moment de l'explosion	2 250 kg.
Et le second.	1 410 kg.

On voit donc que le premier piston devra être beaucoup plus lourd et qu'il transmettra des efforts instantanés beaucoup plus considérables, ce qui conduit à augmenter aussi la résistance et par conséquent le poids de toutes les pièces du premier moteur.

Ajoutons à cela que, pour résister à une même pression par unité de surface, l'épaisseur du premier cylindre devra être beaucoup plus grande que celle du second.

Le refroidissement de la paroi interne sera donc plus difficile à assurer.

Enfin le premier piston devra être plus long que le deuxième pour assurer un bon guidage.

Les frottements sur le cylindre seront plus considérables en raison de son poids et de la plus forte pression transmise (§ 133).

C'est avec des moteurs à longue course qu'a été gagnée la coupe de l'Auto, où la seule condition imposée était que la *cylindrée* (volume du cylindre, le piston étant au point mort bas) soit inférieure à une quantité donnée.

Les constructeurs pouvaient faire varier à leur gré l'alésage et la course.

Les derniers vainqueurs : Delage (1911) et Sunbeam (1912) ont gagné la coupe avec des moteurs à longue course (alésage 80, course 149).

Au début de l'automobile, les moteurs étaient du type dit carré (course égale à l'alésage); actuellement on admet en général dans des voitures de tourisme un rapport

$$\frac{\text{course}}{\text{alésage}} = 1,4 \text{ à } 2.$$

Renault : 12 chevaux, 4 cylindres, 1914, rapport : 1,62

Panhard : 10 chevaux, 4 cylindres, 1916, rapport : 2.

CONCLUSIONS

Un moteur fabriqué d'après les principes exposés ci-dessus, remplira la plus grande partie des conditions que nous cherchons à réaliser. Il aura une grande puissance de régime avec une consommation réduite, il sera léger, régulier; étant bien équilibré, il obéira facilement et rapidement à l'action du conducteur.

La réalisation de ces données, comme la recherche expérimentale des meilleures conditions de fonctionnement, ont fait naître un grand nombre de dispositifs. Tous ne sont pas également à recommander. La pratique a retenu ceux dont la construction était la plus simple, le montage et le démontage les plus faciles, le réglage le plus commode, etc.

Les procédés employés sont sujets à variation. Les progrès réalisés dans l'industrie automobile dépendent pour une part de ceux qui sont réalisés dans d'autres industries et pour ne citer qu'un exemple, l'allumage à haute tension dont on connaissait les mérites, n'a pu être employé que lorsque l'on a pu fabriquer des isolants présentant une résistance électrique suffisamment élevée.

UNITÉS LÉGALES

UNITÉS PRINCIPALES

122. — La loi du 2 avril et le décret du 26 juillet 1919 ont défini les unités suivantes qui doivent être désormais employées.

Masse. — La masse prise comme unité est celle du kilogramme.

Symbole : kg

Force. — Nous avons vu au § 104 qu'une force F appliquée pendant un certain temps à un corps de masse m , faisait prendre à ce corps, pendant le temps considéré, un mouvement uniformément varié dont l'accélération j est égale à $\frac{f}{m}$.

On a donc entre ces grandeurs la relation

$$F = mj$$

qui permet de définir la force qui correspond à une masse et une accélération connues. C'est de cette façon que le décret du 26 juillet caractérise la force prise comme unité. « C'est la force qui, en une seconde, communique à une masse égale à une tonne, un accroissement de vitesse de un mètre par seconde. »

Cette unité a reçu le nom de **sthène.**

Symbole : **sn**

Travail. — La quantité de travail prise comme unité est celle qui est produite par 1 sthène dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.

Cette unité s'appelle le **kilojoule.**

Symbole : **kj**

Puissance. — La puissance prise comme unité est celle qui correspond à 1 kilojoule par seconde.

Cette unité a reçu le nom de **kilowatt.**

Symbole : **kw**

Pression. — La pression prise comme unité est celle qui, répartie sur une surface de 1 mètre carré, produit un effort total de 1 sthène.

Cette unité s'appelle **pièze.**

Symbole : **pz**

Le décret du 26 juillet définit également les unités calorifiques, optiques, électriques, etc.

UNITÉS SECONDAIRES

123. — On peut employer comme unités secondaires les multiples et sous-multiples décimaux des unités principales.

On emploiera par exemple :

$$\text{le Joule} = \frac{1}{1\,000} \text{ kJ}$$

$$\text{le watt} = \frac{1}{1\,000} \text{ kw}$$

PASSAGE D'UN SYSTÈME D'UNITÉS A UN AUTRE

124. — Il est facile de voir que :

le kilogramme-force	vaut	0,98	sn
le kilogrammètre	—	9,8	J
le cheval-vapeur	—	0,736	kw

Un moteur qui développe 20 chevaux-vapeur développe donc :

$$20 \times 0,736 = 14,72 \text{ kw.}$$

CHAPITRE V

ORGANES DU MOTEUR PROPREMENT DIT. — ÉQUILIBRAGE

1. ORGANES FIXES. — Cylindres. — Verticaux. — En V. — Disposition des cylindres. — Chambre de compression. — Chambres latérales. — Carter.
2. ORGANES MOBILES. — Piston. — Bielle. — Arbre. — Volant.
3. COMMANDE DE LA DISTRIBUTION. — Moteur à soupapes et sans soupapes. — Soupapes. — Organes de commande. — Cames. — Poussoirs. — Décompresseurs.
4. ÉQUILIBRAGE.

1. — ORGANES FIXES

125. Organes constitutifs du moteur. — Les organes qui constituent le moteur peuvent être rangés en quatre groupes :

- 1° Les cylindres et le carter, organes fixes.
- 2° Les pistons et les bielles, l'arbre et le volant qui constituent les organes mobiles.
- 3° Les organes de distribution (soupapes et commande des soupapes).
- 4° Les autres organes par lesquels s'effectuent :
 - a) l'allumage (magnéto ou accumulateurs, bougies ou tampons, etc...);
 - b) la circulation de l'agent de refroidissement (pompe, radiateur, etc...);
 - c) la préparation et la conduite du mélange gazeux (carburateur, tuyauterie d'admission, etc...);
 - d) le graissage (réservoir d'huile, pompe, etc...);
 - e) l'échappement (tuyauterie, silencieux);
 - f) l'équilibrage du moteur (contrepoids);
 - g) la régulation.

126. Nombre des cylindres. — Nous avons vu que pour diminuer le poids du volant en augmentant la régularité de l'effort moteur, il fallait employer des moteurs à plusieurs cylindres.

Les principales dispositions des moteurs polycylindriques sont :

1° Moteurs à cylindres verticaux (fig. 21, 22, 23, 24).	{	2 cylindres.	—
		3	—
		4	—
		6	—
2° Moteurs à cylindres en V (fig. 26).	{	2	—
		4	—
		6	—
3° Moteurs Gobron-Brillé.	{	8	—
		2	—

127. Moteurs verticaux. — Dans les moteurs à cylindres verticaux, les cylindres sont disposés côte à côte et chaque bielle attaque sa manivelle.

Ces manivelles sont calées soit sous le même angle (fig. 21), soit avec une différence de 180° (fig. 22).

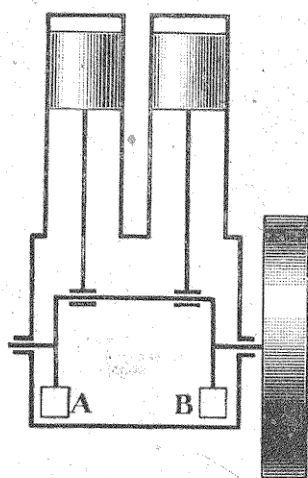


Fig. 21.

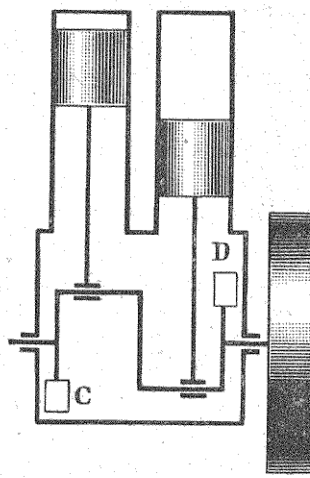


Fig. 22.

Dans le moteur à *deux cylindres* calés à 0° les pistons descendent en même temps, la succession des temps se fait donc de la manière suivante :

1^{er} cylindre :
Admission.
Compression.
Détente.
Échappement.

2^e cylindre :
Détente.
Échappement.
Admission.
Compression.

Il y a une course motrice par tour.

Par contre, les forces d'inertie des pistons s'ajoutent, puisqu'ils ont exactement le même mouvement.

Dans le moteur à deux cylindres calés à 180°, un piston monte quand l'autre descend, la succession des temps peut donc être, soit :

1^{er} cylindre :

Détente.
Échappement.
Admission.
Compression.

2^e cylindre :

Compression. } 1^{er} tour.
Détente. " }
Échappement. } 2^e tour.
Admission. }

soit :

1^{er} cylindre :

Compression.
Détente.
Échappement.
Admission.

2^e cylindre :

Détente. } 1^{er} tour.
Échappement. }
Admission. } 2^e tour.
Compression. }

Dans le calage à 180°, il y a donc toujours un tour sans impulsion et deux impulsions dans le tour suivant.

Par contre, les forces d'inertie des pistons se balancent à peu près, puisqu'elles agissent toujours en sens contraire, l'un des pistons montant lorsque l'autre descend.

Les forces d'inertie dues au mouvement des pistons étant plus considérables que celles dues à l'irrégularité du couple moteur (un tour sans impulsion), le calage à 180° est presque toujours préféré au calage à 0°.

Trois cylindres. — Les manivelles sont calées à 120° (fig. 23); les explosions se succèdent régulièrement, mais les forces d'inertie sont très mal équilibrées. Ce type est abandonné.

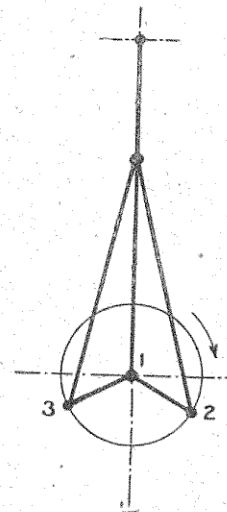


Fig. 23.

Quatre cylindres. — Pour permettre un bon équilibrage, les manivelles sont calées de la manière suivante (fig. 24) :

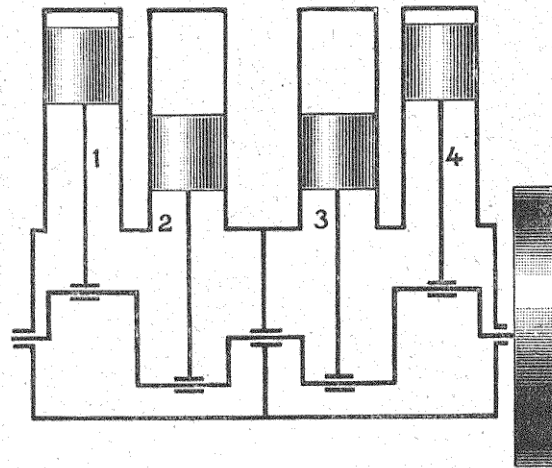


Fig. 24.

La première et la quatrième manivelle sont calées sous le même angle et les deuxième et troisième à 180° des précédentes. Les explosions se succèdent régulièrement.

Six cylindres. — La première et la sixième manivelle sont calées sous le même angle.

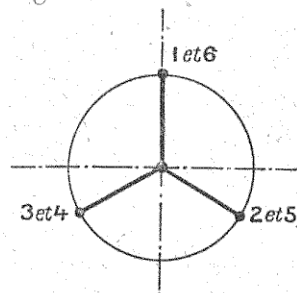


Fig. 25.

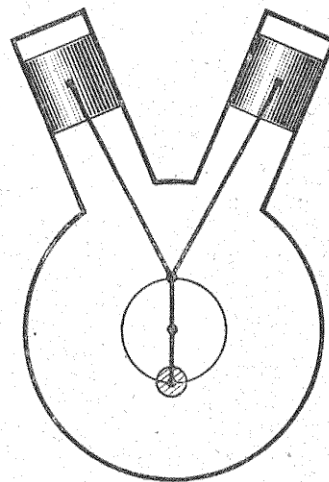


Fig. 26.

La deuxième et la cinquième sous le même angle et à 120° de la première.

La troisième et la cinquième sous le même angle et à 240° de la première. Les explosions se succèdent régulièrement.

128. Cylindres en V. — Dans ces moteurs, les cylindres sont disposés en face les uns des autres et les cylindres placés en regard attaquent la même manivelle (fig. 26).

Les axes des cylindres font entre eux des angles variables. On ne dépasse pas 90° .

Le seul type de moteurs à cylindres en V employé actuellement en automobile, est le 8 cylindres genre de Dion.

129. Ordre des explosions. — Nous avons vu que le moteur à deux cylindres pouvait se faire selon deux types, suivant que le cylindre arrière donne son impulsion avant ou après le cylindre avant.

C'est que l'angle de calage des manivelles sur l'arbre ne suffit pas à déterminer l'ordre des explosions. Prenons les moteurs les plus courants : quatre et six cylindres ; nous pouvons avoir pour chacun des cylindres les cycles suivants :

Quatre cylindres :				
1 ^{er} TYPE.	cylindre 1.	cylindre 2.	cylindre 3.	cylindre 4.
1 ^{er} tour.	Détente.	Échappement.	Compression.	Admission.
	Échappement.	Admission.	Détente.	Compression.
2 ^e tour.	Admission.	Compression.	Échappement.	Détente.
	Compression.	Détente.	Admission.	Échappement.

Les explosions se succèdent dans l'ordre :

	1	3	4	2
2 ^e TYPE.				
1 ^{er} tour.	Détente.	Compression.	Échappement.	Admission.
	Échappement.	Détente.	Admission.	Compression.
2 ^e tour.	Admission.	Échappement.	Compression.	Détente.
	Compression.	Admission.	Détente.	Admission.

Les explosions se succèdent dans l'ordre :

1 2 4 3

Les deux types sont équivalents au point de vue mécanique et si l'on donne souvent la préférence au 1^{er} type c'est pour la raison suivante :

Lorsqu'on emploie un carburateur unique placé au milieu du groupe moteur (ce qui est le cas général), il est avantageux de préparer l'admission dans les cylindres extrêmes en dirigeant au préalable le flux gazeux dans le cylindre voisin situé plus près du carburateur.

Dans le moteur à six cylindres, on pourrait avoir huit combinaisons de cycles qui donnent quatre ordres d'allumage distincts (les huit combinaisons donnant deux à deux le même ordre).

On choisit souvent l'ordre 1 3 5 6 4 2 qui a l'avantage :

1° De produire des explosions successives qui font travailler les parties voisines de l'arbre moteur.

Celui-ci, qui est assez long, fatiguerait beaucoup plus si deux explosions successives affectaient des parties éloignées.

2° D'assurer une bonne alimentation en évitant le plus possible les changements de sens de la veine gazeuse.

Dans les moteurs en V, il y a également plusieurs ordres d'allumage possibles et les mêmes considérations interviennent dans le choix de cet ordre.

130. Moteurs Gobron-Brillié. — Le cylindre de ces moteurs n'a pas de fond; il possède deux pistons opposés dont l'un attaque une manivelle comme à l'ordinaire et l'autre une autre manivelle par un envoi comme l'indique la figure 27.

Ce moteur est bien équilibré, puisque les forces d'inertie dues au mouvement des pistons sont constamment égales et de sens contraire, mais il est plus compliqué que le moteur ordinaire.

131. Construction du cylindre. — Le cylindre présente, suivant les constructeurs, des formes extérieures variées, mais comprend toujours les parties suivantes :

a) Le cylindre proprement dit, à section circulaire, dans lequel se meut le piston. Il doit être alésé avec le plus grand soin.

b) La culasse du cylindre.

c) La ou les chambres des soupapes, ou chapelles latérales.

Ces chapelles sont naturellement supprimées lorsque les soupapes débouchent directement dans la culasse.

d) Le dispositif de refroidissement.

e) L'embase avec les trous d'attache au carter.

a) *Cylindre proprement dit.* — Le cylindre est en général en fonte dure, matière dont le prix est moins élevé que celui de l'acier et qui se moule plus facilement. Exceptionnellement, dans les moteurs extralégers, le cylindre est construit en acier dont le poids, à résistance égale, est moindre que celui de la fonte.

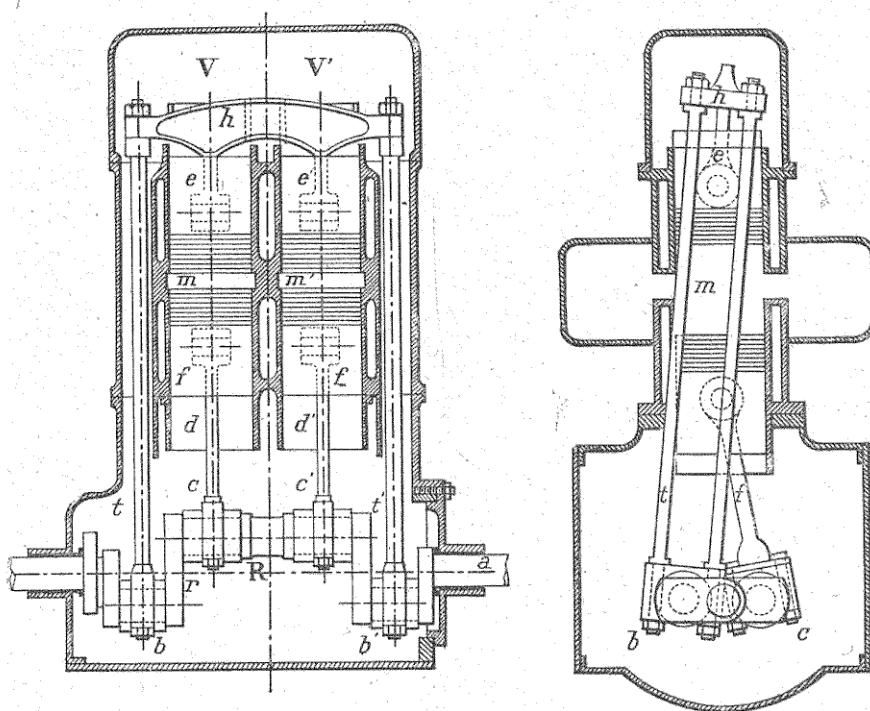


Fig. 27.

L'épaisseur des parois est théoriquement déterminée par les deux conditions suivantes :

1° Elle doit être aussi réduite que possible pour favoriser le refroidissement.

2° Elle doit être suffisante pour résister à la pression intérieure.

Il est facile de voir que cette épaisseur *doit être proportionnelle au diamètre du cylindre*.

Soient : p la pression effective à l'intérieur du cylindre (en kg. par mm²), D , son diamètre en mm., e , l'épaisseur cherchée en mm.

Les conditions sont les mêmes dans toutes les sections droites

du cylindre; prenons donc une portion du cylindre comprise entre deux sections droites, distantes de l , par exemple.

L'expérience montre que la rupture a toujours lieu suivant un plan diamétral.

Soit AB le plan de rupture.

Appliquons la formule générale

$$\frac{F}{\Omega} = R.$$

F est la force verticale qui tend à détacher le demi-cylindre supérieur de l'inférieur.

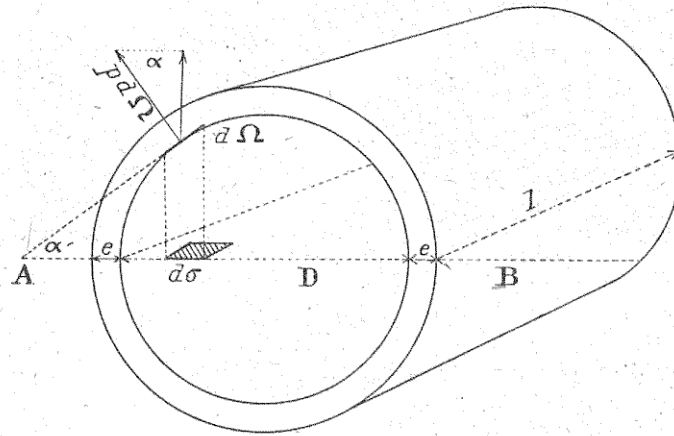


Fig. 28.

Ω est la surface de la paroi sur laquelle agit cette force F.

R est la charge à laquelle chaque millimètre carré peut résister en toute sécurité.

La pression sur un élément $d\Omega$ de la paroi interne est $p \times d\Omega$. La composante suivant la normale au plan méridien est $pd\Omega \cos \alpha = pd\sigma$ et la somme de ces composantes normales sur le demi-cylindre supérieur sera

$$\Sigma p \cdot d\sigma = p \Sigma d\sigma = pDl.$$

D'autre part, la section qui résiste à cette pression intérieure est $2el$.

On doit donc avoir :

$$R = \frac{p\pi l}{2el} = \frac{pD}{2e}$$

d'où :

$$e = \frac{pD}{2R}. \quad (1)$$

Cette formule montre que si D diminue, e diminue aussi : donc un cylindre de petit diamètre n'a pas besoin, pour résister à une même pression p , d'une aussi grande épaisseur qu'un cylindre de grand diamètre, ou, si l'on veut, à égalité d'épaisseur, un petit tube résiste mieux qu'un grand.

Supposons maintenant que le cylindre puisse se rompre suivant une section droite.

La force F dans ce cas n'est autre chose que la pression sur les fonds, c'est-à-dire

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot p.$$

On doit donc poser :

$$R = \frac{F}{\Omega} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} p}{\pi D e} = \frac{pD}{4e}$$

d'où :

$$e = \frac{pD}{4R}. \quad (2)$$

La formule (2) donne une épaisseur qui est précisément la moitié de celle fournie par la formule (1).

C'est donc cette formule (1) qu'il conviendra d'employer et alors le cylindre pourra résister à une pression deux fois plus grande suivant une section droite que suivant un plan méridien. En fait, lorsqu'une rupture a lieu, elle présente ordinairement une forme irrégulière comme la figure 28^{bis}, mais qui dessine assez nettement une génératrice.



Fig. 28 bis.

Pratiquement, les épaisseurs qu'il est nécessaire d'adopter pour obtenir une coulée régulière de la fonte, sont suffisantes pour éviter tout danger d'éclatement sous la pression intérieure.

La longueur de la partie alésée du cylindre devrait être théoriquement égale à la longueur de la course augmentée de celle du piston.

En pratique, la longueur totale ainsi obtenue est diminuée de quelques millimètres de chaque côté, de telle manière que le piston

déborde un peu dans la culasse à la partie supérieure de sa course et dans le carter lorsqu'il est au point mort bas.

L'alésage du cylindre se fait sur un tour, il est très souvent commencé à l'outil et terminé à la meule, qui donne un meilleur poli.

b) *Disposition des cylindres.* — Dans les moteurs polycylindriques, les cylindres peuvent être :

1° Coulés séparément;

2° Coulés par paires;

3° Coulés par blocs de trois, quatre ou six.

Les moteurs modernes sont, en général, à cylindres coulés par paires ou d'un seul bloc.

La disposition par cylindres séparés élève le prix de revient des moteurs.

Elle conduit, en particulier, dans les moteurs à quatre cylindres, à utiliser des arbres soutenus par cinq paliers, ce qui en augmente le poids et le prix.

La disposition par paires permet de soutenir l'arbre par trois paliers dans le cas du quatre cylindres (deux paliers extrêmes et un palier intermédiaire) et par quatre paliers dans le cas du moteur à six cylindres verticaux.

Enfin, le bloc moteur composé de quatre cylindres fondus d'une seule pièce est le plus économique à établir.

On le rencontre sur un assez grand nombre de voitures (10 chevaux De Dion, 1913-12/16, Delahaye, etc...).

Dans le cas des moteurs à quatre cylindres fondus par paires ou en bloc, la tuyauterie d'admission vient de fonte avec les cylindres, mais la tuyauterie d'échappement est rapportée. Les tuyauteries d'échappement venues de fonte céderaient beaucoup de chaleur au moteur et rendraient son refroidissement très difficile. Il est même bon de prévoir une tuyauterie d'échappement spéciale pour chaque cylindre, ou mieux de réunir l'échappement des cylindres 1 et 4 et celui des cylindres 3 et 2. Les deux tuyaux d'échappement (1, 4) et (3, 2) sont ensuite branchés sur un même conduit qui se rend au silencieux.

Si tous les cylindres étaient, en effet, branchés sur le même tuyau d'échappement, au moment où, par exemple, la soupape du troisième cylindre commence à s'ouvrir avec une certaine avance, il se produira dans le premier cylindre, dont la soupape d'échappe-

ment est encore ouverte, une rentrée des gaz brûlés du troisième cylindre, lesquels sont à une pression considérable.

c) *Chambre de compression. — Culasse.* — Pour obtenir le meilleur rendement, la chambre de compression doit présenter la surface minimum pour un volume donné.

Le calcul montre que le corps dont la surface est minimum pour un volume donné est une sphère, la chambre d'explosion devrait donc être hémisphérique, les soupapes étant placées sur cette chambre elle-même.

Pour commander des soupapes ainsi disposées il faut prévoir soit un renvoi général, soit un culbuteur par soupape, transformant en mouvement de haut en bas, l'impulsion de bas en haut qui lui est communiquée par l'arbre à cames (§ 143).

Les soupapes sont alors mal guidées, puisque leur tige n'est pas maintenue comme elle l'est dans les dispositifs de commande par le bas.

Dans la plupart des moteurs modernes, on adjoint donc à la culasse des chapelles latérales dans lesquelles s'ouvrent les soupapes.

Dans les premiers moteurs, les cylindres étaient fondus en deux parties : le cylindre et la culasse. Ces deux pièces étaient réunies au moyen de boulons et de prisonniers.

Le joint entre la culasse et le cylindre était fort difficile à réussir, aussi avait-on abandonné ce dispositif malgré les facilités d'usinage qu'il présentait. Il a été repris sur le Citroën 10 HP 1919.

Généralement, la culasse vient de fonte avec le cylindre.

d) *Chambres des soupapes ou chapelles.* — L'adjonction de ces chambres augmente le volume de la chambre d'explosion, mais pour les motifs exposés ci-dessus, cette disposition est généralement adoptée.

Ces chambres peuvent être placées soit d'un même côté, soit d'un côté différent du cylindre.

Lorsque les soupapes sont placées de part et d'autre, le moteur est bien symétrique, les soupapes peuvent être plus larges, les tuyauteries d'admission et d'échappement sont bien isolées et bien accessibles. Le courant gazeux d'échappement sort du côté opposé à celui qui vient du carburateur et cela assure le balayage efficace des gaz brûlés.

Par contre, cette disposition nécessite l'emploi de deux arbres à cames pour commander la distribution.

Les deux dispositions sont adoptées et parfois le même constructeur munit certains de ses moteurs de la distribution par un seul arbre à came (Panhard, 12 chevaux, 1912) et d'autres de la commande par deux arbres à came (Panhard, 15 et 18 chevaux, 1912).

De toute façon, les canalisations d'admission et d'échappement doivent être disposées de telle façon que le passage des gaz soit le moins possible gêné.

La vitesse des gaz frais doit être, en moyenne, de 60 à 70 mètres pour l'échappement la vitesse doit être voisine de 100 m. à la seconde.

Parmi les dispositifs employés pour réduire le volume de la chambre de compression, nous signalerons le moteur Sunbeam, dans lequel les soupapes sont inclinées pour réduire les dimensions de la chapelle latérale (fig. 29).

Dans certains moteurs, la bougie d'allumage est placée au-dessus de la soupape d'admission. Cette disposition permet de faire éclater l'étincelle sur le trajet des gaz frais.

e) *Robinet de décompression.* — Dans d'autres, les chapelles latérales comportent un robinet de décompression.

Ce robinet sert à la vérification de l'allumage, à l'introduction d'un peu d'essence dans le cylindre pour favoriser les départs ou dégripper le piston.

Ce robinet peut d'ailleurs être porté par la culasse elle-même.

f) *Dispositifs de refroidissement du cylindre.* — Quand le cylindre est refroidi par l'air, ce qui se rencontre surtout sur les motocyclettes, le cylindre est muni sur une certaine hauteur d'ailettes dont la forme est déterminée pour obtenir une dispersion rapide de la chaleur.

Ces ailettes devraient être constituées théoriquement de telle manière que la section droite ait la forme de deux arcs de cercle concaves.

En pratique, on arrondit l'extrémité des ailettes.

Dans le cas du refroidissement par l'eau, on dispose autour du cylindre une enveloppe dans laquelle devra circuler l'eau de refroidissement. — Cette enveloppe ne descend pas jusqu'à l'extré-

mité du cylindre et l'épaisseur de la couche d'eau est d'environ 9 à 10 mm.

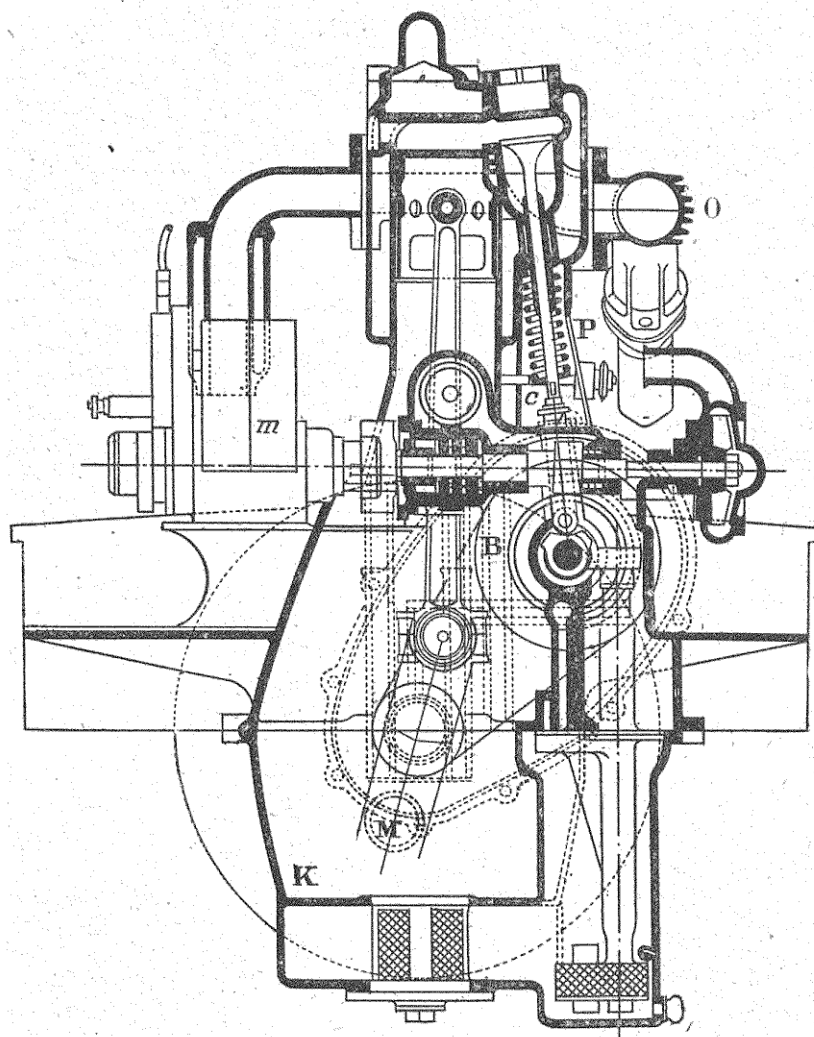


Fig. 29. — Moteur Sunbeam.

A, B, pignons de distribution; c, poussoir réglable de la soupape; P, bouton molleté permettant de retirer facilement le faux carter recouvrant les tiges de soupapes; S, soupape dont l'axe est incliné sur celui du moteur pour réduire les surfaces nuisibles; O, arrivée du mélange; m, magnéto; K, carter; M, manivelle.

Cette enveloppe peut être :

1° D'une seule pièce avec le cylindre ;

2° Rapportée.

Dans le premier cas, il n'y a aucun joint et, par conséquent, aucune fuite à craindre.

Les dimensions de cette enveloppe devront être telles qu'elles permettent le désablage parfait lors du démoulage.

Dans le second cas, la chemise de refroidissement est constituée par une tôle de cuivre ou d'aluminium. Pour que les dilatations puissent se faire librement, on ondule légèrement cette tôle.

Les chemises rapportées sont fixées sur le cylindre au moyen d'une soudure en argent qui exige une température moins élevée que la brasure au cuivre.

L'étanchéité de la chemise est vérifiée à la presse hydraulique à 5 kg. environ.

La difficulté d'obtenir les chemises de refroidissement étanches a fait adopter d'une manière générale les cylindres à chemise venue de fonte avec eux.

En général, les enveloppes de circulation sont munies d'un orifice de vidange destiné à l'évacuation de l'eau par temps froid.

g) Embase. — Chaque cylindre est encastré, par son embase, dans la partie supérieure du carter auquel on le fixe par des boulons.

432. Carter. — On appelle carter une boîte métallique qui enveloppe un mécanisme. Il en existe un sous les cylindres qui enveloppe complètement l'arbre.

Le carter protège les organes situés à l'intérieur, des poussières extérieures. Il contient l'huile nécessaire au barbotage ou au graissage par circulation : il doit donc être bien étanche afin d'éviter les pertes d'huile.

Le carter joue surtout un rôle de protection, et est construit de manière à être le plus léger possible. Il est donc fait, en général, en aluminium.

D'une manière générale, le carter porte les pattes d'attache qui fixent le moteur au châssis.

Ces pattes sont au nombre de trois ou quatre.

Les pattes d'attache du carter au châssis doivent résister au poids et à l'action du couple moteur.

Si d est la distance des pattes latérales à l'axe du vilebrequin, on voit que le couple moteur C produit sur les pattes un effort égal à $\frac{C}{d}$.

Pour éviter toute déformation, les pattes qui soutiennent le moteur devraient rester dans le même plan, ce qui conduit à prendre un dispositif à trois pattes, mais en pratique on emploie souvent le dispositif à quatre pattes.

On interpose presque toujours une matière souple dans les joints pour amortir les vibrations.

Dans les moteurs monocylindriques, le carter se compose de deux parties réunies par des boulons suivant un plan perpendiculaire à l'arbre.

Ces deux parties sont percées en leur centre de trous qui forment les paliers et qui sont garnis de bagues en bronze.

Dans les moteurs à plusieurs cylindres, le carter est formé de deux parties réunies suivant un plan horizontal passant par l'axe de l'arbre.

Autrefois, les paliers étaient supportés par la partie inférieure du carter.

Actuellement, on les suspend à la partie supérieure.

Cette seconde disposition offre l'avantage de permettre plus de précision dans le montage, puisque les cylindres et les paliers sont réunis par une même pièce.

Elle facilite, en outre, la vérification des têtes de bielle et des paliers, puisque la partie inférieure du carter peut se démonter instantanément.

Le carter doit en outre présenter les dispositifs assurant la fixation des organes de distribution, le graissage.

Enfin, on le complète par un robinet de vidange qui sert à l'évacuation de l'huile ayant servi et de cheminées d'aération qui en font communiquer l'intérieur avec l'air extérieur.

Ces cheminées peuvent servir au remplissage d'huile.

Comme nous verrons plus loin, certains carters possèdent un double fond pour le filtrage de l'huile dans les procédés de graissage par circulation ou sous-pression.

Quelques-uns portent des ailettes de refroidissement pour éviter l'échauffement de l'huile.

2. — ORGANES MOBILES

133. Piston. — Généralités. — Le piston des moteurs d'automobile a la forme d'un cylindre fermé à l'extrémité supérieure (fig. 30). Comme dans ces moteurs la bielle et le piston sont directement

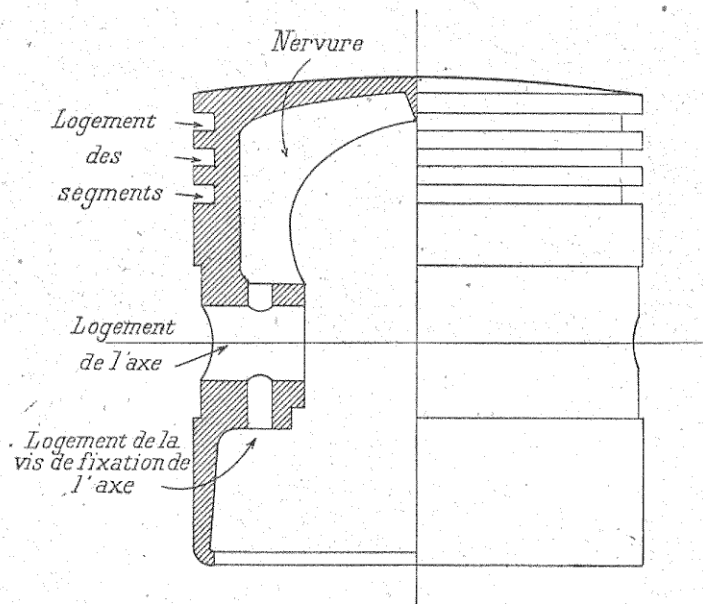


Fig. 30.

réunis, il en résulte que le piston doit remplir les conditions suivantes :

- 1° Assurer l'étanchéité du cylindre;
- 2° Recevoir la pression et la transmettre à la bielle;
- 3° Guider le déplacement de la bielle.

La première de ces conditions est la plus difficile à réaliser. Il faut éviter toute fuite au moment de la compression, de l'explosion et de la détente, mais il faut assurer cette étanchéité tout en évitant la perte de travail qui résulterait d'un frottement trop considérable.

Si la température du cylindre et du piston était la même ou si ces deux organes avaient le même coefficient de dilatation, on

pourrait donner au piston le diamètre intérieur du cylindre, en réservant simplement la place nécessaire à la pellicule d'huile indispensable.

Mais la température du cylindre qui est refroidi est loin d'égaliser celle du fond du piston au moment de l'explosion. Il faut donc laisser au piston la possibilité de se dilater.

Il faut compter que, la surface extérieure du cylindre étant en général refroidie à moins de 100° , la face intérieure est refroidie à 300° .

La température de l'explosion étant de 1800° environ, le fond du piston se trouve à ce moment porté à une température d'au moins 500° . Par conductibilité, l'autre extrémité du piston est à environ 200° .

Il faut donc construire le piston de telle manière que le jeu soit un peu plus du double au fond qu'à l'autre extrémité, le piston aura donc une forme légèrement tronconique.

Ces jeux sont de quelques dixièmes de millimètre, mais il ne faut pas oublier qu'un jeu de $1/10$ de millimètre dans un piston de 100 d'alésage donne aux gaz un passage de 31 mm^2 .

Segments. — Pour que l'étanchéité soit néanmoins assurée, on ménage sur la partie cylindrique du piston, des gorges circulaires de section rectangulaire dans lesquelles sont logés des segments.

Ces segments sont des anneaux de fonte douce dont la surface extérieure est tournée de manière à s'appuyer exactement sur la paroi intérieure du cylindre.

Ils sont fendus afin de pouvoir s'ouvrir librement sous l'influence de la dilatation en épousant le contour du cylindre. Les extrémités ne doivent jamais se toucher. Ce coincement déterminerait la rupture du segment.

Le coefficient de dilatation de la fonte étant de $0,01 \text{ mm. par degré}$, et le segment pouvant être porté à une température maximum de 200° environ, le jeu qui doit exister entre ses extrémités peut être facilement calculé.

Pour un piston de 100 mm. d'alésage, le jeu est d'environ un demi-millimètre.

La forme des extrémités du segment est variable, mais elle doit permettre le maximum de dilatation avec l'écartement minimum de ces extrémités.

La plus simple est une section à 45° faite par un trait de scie (fig. 31).

L'étanchéité est mieux assurée par des extrémités qui se recouvrent, mais l'usinage est plus difficile (fig. 31).

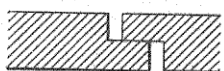


Fig. 31.

Par suite de la présence des fentes, l'étanchéité ne peut être assurée que par un minimum de deux segments.

Le piston, par suite de l'obliquité de la bielle, vient s'appliquer alternativement sur les génératrices du cylindre situées dans le plan que décrit l'axe de la bielle dans son mouvement. Il est indiqué de placer les fentes des segments le long de ces génératrices.

Quand on utilise trois segments, on dispose leurs fentes à 120° .

La forme du segment doit être telle que lorsqu'il est en service sa surface latérale soit exactement un cylindre.

Son épaisseur est fixée par la résistance qu'il doit présenter à l'effort de torsion qui se produit au moment de l'explosion. Elle doit être également suffisante pour que le segment puisse s'ouvrir lors de la mise en place, sans que la limite d'élasticité de la fonte soit dépassée. On prend souvent une épaisseur $= \frac{\text{alésage}}{20}$.

Sa hauteur doit être telle qu'il assure convenablement l'étanchéité et qu'il résiste à l'effort de cisaillement produit par l'explosion. On prend comme hauteur : $\frac{3 \times \text{alésage}}{100}$.

Pour que l'étanchéité soit assurée, il faut que les segments satisfassent aux conditions suivantes :

- 1° Contact parfait avec le cylindre;
- 2° Contact parfait avec le piston.

Pour réaliser la première, les segments mis en place sur le piston sont rodés à la potée d'émeri très fine et à l'huile pendant plusieurs heures. Le rodage est terminé à l'huile jusqu'à glaçage complet.

Le contact parfait avec le piston s'obtient en réalisant le dressage rigoureux des faces du segment et de la gorge qui doivent venir en contact.

Ce contact se produit entre les faces inférieures de la gorge et du segment pendant les courses de compression, de détente et

d'échappement. Pendant l'aspiration, le segment peut être attiré vers le haut.

Pour éviter les coincements, il faut laisser un certain jeu entre la gorge et le segment.

La mise en place du segment est très délicate, car il faut éviter de lui donner une déformation permanente.

On arrête quelquefois les segments à leur position par un ergot placé entre les bords de la fente et qui les empêche de tourner autour du piston.

Si cet ergot n'existe pas, il est bon, lors des démontages du moteur de repérer la place des segments par rapport au cylindre, afin d'avoir une bonne obturation. En effet, le frottement du piston use peu à peu le cylindre, les segments épousent la forme du cylindre au fur et à mesure que cette usure se produit. Il est donc essentiel lorsqu'on remonte un moteur usagé, de placer les segments exactement à la place qu'ils avaient lors du démontage.

Construction. — Le piston est en général construit en fonte pour des raisons d'économie et de facilité d'exécution (moulage).

Certains constructeurs, pour diminuer le poids des pistons et par conséquent les forces d'inertie, ont établi des pistons en acier embouti. L'acier étant plus résistant que la fonte, permet de réduire les épaisseurs dans les parties où l'on n'a pas à loger de segments.

Fond du piston. — Le fond du piston doit pouvoir supporter la pression de l'explosion. On calcule son épaisseur en conséquence :

$$e = \frac{pD}{400R}.$$

p , Pression explosive (kg. par cm²).

D , Alésage (millimètres).

e , Épaisseur (—).

R , Coefficient de résistance au cisaillement (kg. par mm²).

La face intérieure du fond se raccorde aux bords par un congé très accentué. Elle est quelquefois renforcée par des nervures et celles-ci sont alors disposées de telle manière que l'huile qui est projetée sur elles retombe sur l'orifice de graissage de l'axe du pied de bielle (fig. 30).

Le fond du piston peut être :

1° *Convexe.* — Cette disposition augmente la compression dans le moteur et la résistance du piston.

Elle a le défaut d'augmenter la surface en contact avec les gaz chauds, de faciliter par conséquent l'échauffement du piston et par suite de rendre le graissage plus difficile.

2° *Plane*. — La surface du fond est minimum; cette forme est presque généralement adoptée.

3° *Concave*. — On trouve cette forme dans certains sans soupapes (Panhard-Levassor) où, combinée avec une disposition analogue de la culasse, elle assure à la chambre de compression une forme se rapprochant de la sphère.

Longueur. — La longueur du piston doit être suffisante pour permettre un bon guidage de la bielle, c'est-à-dire pour qu'il n'y ait non seulement aucun coincement, mais encore pour que la pression du piston sur le cylindre par unité de surface soit toujours assez faible pour permettre un bon graissage.

Cette pression est due à l'obliquité de la bielle.

Il est facile de s'en rendre compte.

Soit F la force qui agit sur le piston à un moment quelconque de la course de détente (fig. 32), soit P le piston, PM la bielle.

A ce moment, la manivelle a tourné d'un angle α et la bielle fait avec l'axe du cylindre un angle β .

Pour avoir la valeur de la poussée f du piston sur le cylindre, il faut décomposer F en deux forces : l'une dirigée suivant PM , l'autre suivant une perpendiculaire à l'axe dans le plan POM . Cette deuxième force est la poussée cherchée.

On voit que

$$f = F \operatorname{tg} \beta.$$

Cette relation montre que, toutes les autres données restant les mêmes, la force f est d'autant plus grande que l'angle de la bielle avec l'axe du piston est lui-même plus grand. Cet angle dépend de la longueur relative de la manivelle (c'est-à-dire de la course, car

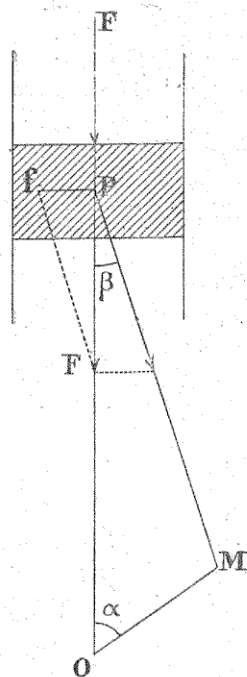


Fig. 32.

la manivelle est égale à la moitié de la course) par rapport à celle de la bielle.

On a intérêt à prendre une longue bielle pour diminuer f (mais sans excès pour assurer un bon passage aux points morts).

La détermination exacte de F est fort compliquée. Il faut tenir compte :

Pour la course de compression : de la résistance qu'opposent les gaz comprimés ;

Pour la course d'aspiration : de la pression atmosphérique qui s'exerce sur la face opposée du piston ;

Pour la course d'échappement : de la contre-pression des gaz qui ne se mettent pas instantanément en équilibre de pression avec l'atmosphère.

Pour toutes les courses :

1° De la force d'entraînement de la bielle qui provient de l'énergie emmagasinée dans le volant ou du travail fourni par un autre cylindre ;

2° Des forces d'inertie auxquelles sont soumis bielle et piston.

On prend en général, comme longueur du piston, une longueur un peu supérieure à l'alésage.

Face cylindrique. — La face cylindrique porte à sa partie supérieure les gorges destinées à recevoir les segments. Au-dessous, elle est percée de trous destinés à recevoir l'axe.

Elle porte quelquefois, à la partie inférieure, un segment simplement destiné à empêcher les projections d'huile à l'intérieur du cylindre.

La partie inférieure du piston peut être allégée par des trous (Panhard, Peugeot 18 chevaux, 1913).

Axe. — La pression des gaz se transmet à la bielle par l'axe du piston sur lequel est articulé le pied de bielle.

Cet axe en acier est situé aussi près que possible du fond, au-dessous des segments. Il est en général enfoncé à frottement dur dans les douilles ménagées dans le piston pour le recevoir, et le pied de bielle tourne autour de cet axe. Il faut éviter le moindre jeu entre l'axe et son logement, sans quoi celui-ci serait vite maté. D'autre part, il est nécessaire de fixer l'axe pour l'empêcher de tourner. On se sert pour cela soit d'une vis verticale, soit d'une goupille horizontale.

En général, l'axe n'est fixé que par l'une de ses extrémités pour laisser la dilatation s'effectuer.

La disposition précédente favorise le graissage, l'huile projetée sur la face inférieure du piston retombant sur le pied de bielle, c'est-à-dire sur la partie qui tourne. Dans certaines voitures, l'axe est calé sur la bielle et c'est l'axe qui tourne dans les douilles.

134. Bielle. — *a) Généralités.* — La bielle est chargée de transformer le mouvement alternatif du piston en mouvement de rotation continu de l'arbre.

Elle comprend trois parties (fig. 33) :

le pied,
le corps,
la tête.

b) Pied. — Dans le cas général, le pied est formé par un épanouissement du corps de bielle; il est articulé sur l'axe du piston au moyen d'une douille ou bague en bronze. Cette bague n'est pas absolument indispensable : cela tient à ce que l'amplitude des mouvements d'oscillation est faible. Si les parties en contact sont très dures et très bien polies, le frottement acier sur acier n'a pas d'inconvénient.

Si l'on emploie une bague, celle-ci est enfoncée dans le pied à frottement dur. Elle porte des pattes d'araignée pour le graissage. On munit quelquefois la partie supérieure du pied d'un petit entonnoir qui recueille l'huile qui tombe des nervures du piston.

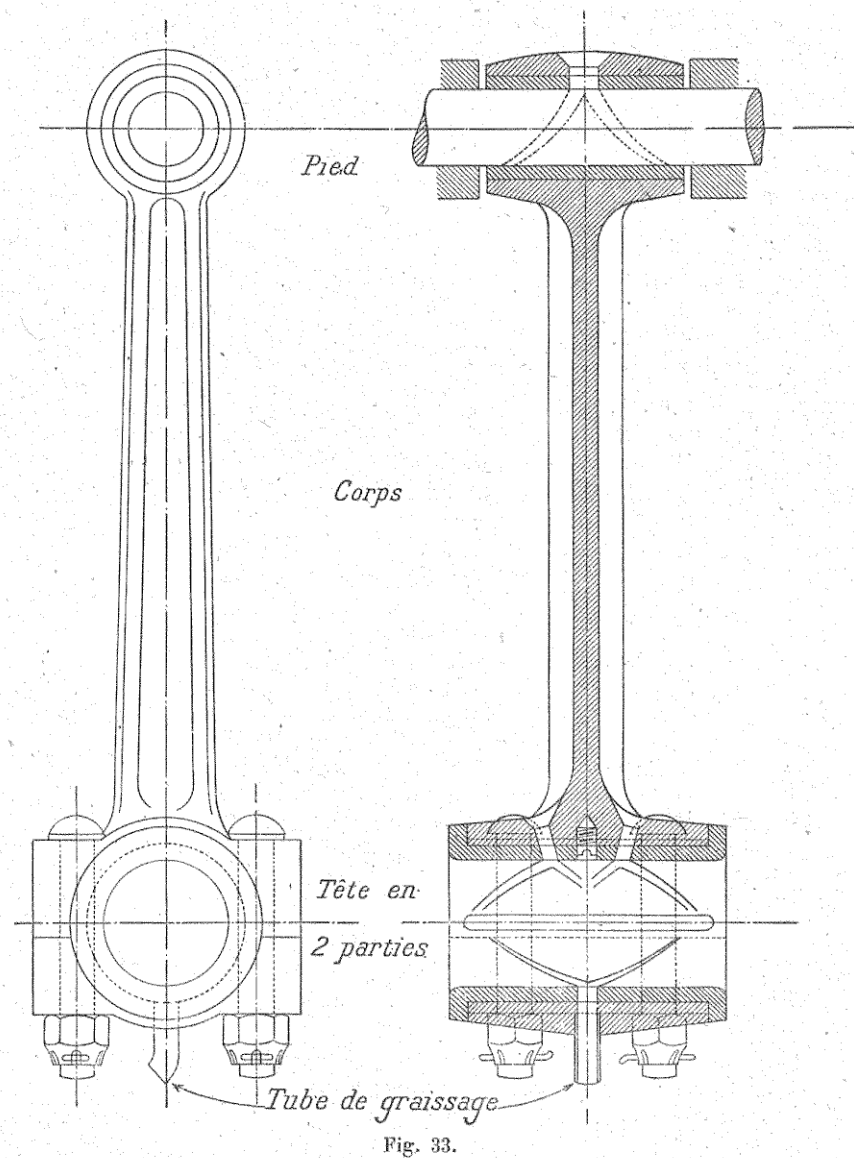
En général, la douille qui maintient de chaque côté l'axe du piston a comme longueur le quart de l'alésage. Le pied de bielle pourrait donc avoir pour longueur la moitié de l'alésage.

Toutefois, comme on n'est jamais sûr que le plan perpendiculaire au maneton (§ 133), en son milieu, contienne exactement l'axe du cylindre, on laisse un jeu de 1 ou 2 mm. entre les bords du pied de bielle et ceux des douilles.

Ce léger jeu n'a pas d'inconvénient : il permet au pied de bielle de prendre sa place exacte.

c) Corps. — Le corps a une section calculée pour résister aux efforts que la bielle doit supporter et dont le *principal est dû à l'explosion*. On calcule cette section avec grande précision afin de

diminuer autant que possible le poids et par conséquent les forces d'inertie ⁽¹⁾.



1. Nous avons vu que le calcul de ces forces d'inertie est très difficile en raison des trajectoires différentes que suivent chacun de ses points. D'une manière générale, les

La bielle est faite en acier et la section en double T, qui donne plus de rigidité dans le plan du mouvement, est en général adoptée.

d) Tête de bielle. — La tête de bielle comporte un épanouissement du corps de forme assez variable, mais toujours muni de deux demi-coussinets en bronze garnis ou non de métal antifriction.

Ces coussinets doivent être ajustés avec le plus grand soin sur le maneton, car, lorsqu'ils prennent un peu de jeu, on entend des chocs qui sont très préjudiciables à la conservation des pièces. On dit alors que le moteur cogne.

On laisse un jeu aussi réduit que possible entre les faces latérales de la tête de bielle et les extrémités des manetons sur lesquels elles sont montées, afin que la tête de bielle soit bien guidée et ne risque pas de fausser l'arbre.

La tête de bielle est soumise à des efforts très importants qui lui sont transmis par la bielle ou qui résultent de l'inertie de la bielle et du piston. Il est bon, en particulier, d'encastrement solidement les coussinets pour qu'ils puissent résister aux efforts latéraux. De plus, lorsque la tête de bielle est faite en deux parties, celles-ci doivent être solidement maintenues par des boulons en acier à forte résistance, les écrous sont soigneusement goupillés.

La tête de bielle est pourvue, lorsque le graissage se fait par barbotage, d'un trou qui assure l'entrée de l'huile à sa partie inférieure.

La têtes à billes sont peu employées. Elles sont encombrantes et ne résistent pas bien aux efforts irréguliers qui agissent sur elles.

e) Bielles désaxées — Pour réduire l'importance du frottement du piston sur le cylindre au moment de l'explosion (moment où sa valeur est maximum), on fait, parfois, passer l'axe du cylindre à une certaine distance de l'arbre (bielle désaxée).

composantes des forces d'inertie dues aux liaisons peuvent être groupées en deux catégories.

La première comprend toutes les composantes agissant dans un sens perpendiculaire à l'axe.

Elles tendent à lancer la bielle, soit à droite, soit à gauche de l'axe.

La seconde comprend les composantes dirigées suivant la bielle. Elles sont transmises à l'axe du piston et se traduisent par une action sur le piston dans le sens de l'axe du cylindre et par un frottement sur les parois.

En pratique, lorsque l'on veut équilibrer la bielle, on considère que le tiers de son poids est appliqué au maneton et soumis à une force centrifuge et les deux autres au pied, augmentant ainsi l'inertie du piston.

L'obliquité de la bielle est ainsi diminuée pendant la détente et l'aspiration. Elle est augmentée pendant les courses ascendantes, mais cela est sans inconvénient, car les efforts sont plus faibles que lors de la détente.

Le désaxage a encore l'avantage d'augmenter l'angle de rotation qui correspond à la course motrice (fig. 34).

La valeur du désaxage s'exprime en fraction de la course, c'est $\frac{e}{2r}$.

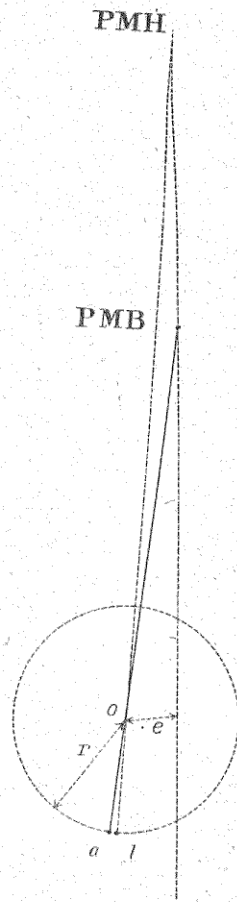


Fig. 34.

ab, augmentation de l'angle correspondant à la course motrice.

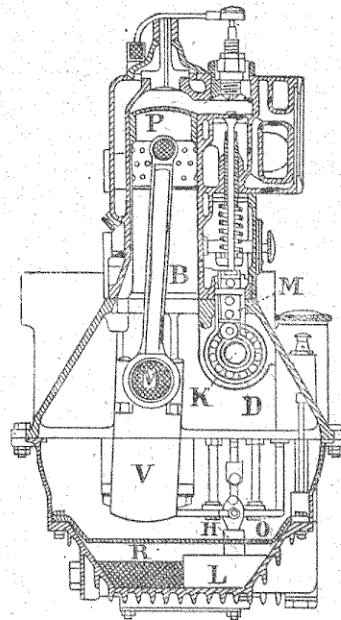


Fig. 35. — Coupe d'un moteur Peugeot montrant le désaxage.

P, piston; B, bielle; M, maneton; V, vilebrequin; K, arbre à cames; D, roulement à billes; O, ouverture de remplissage du carter; L, réservoir d'huile; Q, cuvette de barbotage des têtes de bielles; H, pompe à huile; R, filtre.

La figure 35 montre un moteur Peugeot 18 chevaux, 1913, désaxé de $\frac{1}{8}$ de la course.

f) Bielle déportée. — Pour réduire la longueur du moteur, certains

constructeurs ont été obligés d'employer des bielles déportées. Dans ces bielles non symétriques, l'axe du corps ne coïncide ni avec l'axe de la tête ni avec celui du pied (fig. 36).



Fig. 36.

Cette disposition doit être proscrite, car elle fait naître des poussées obliques qui détériorent rapidement les coussinets. Aussi, le moteur « cagne » au bout de quelque temps.

135. Arbre. — *a) Généralités.* — L'arbre appelé vilebrequin a pour objet :

- 1° De recevoir les efforts du piston ;
- 2° De transmettre le mouvement au volant ;
- 3° D'assurer le mouvement du piston pendant les périodes non motrices ;
- 4° D'actionner la distribution.

Il est supporté par des paliers.

Il est de force variable suivant la disposition des cylindres, mais il comprend toujours les parties suivantes :

- 1° Un certain nombre de tourillons qui tournent dans les paliers.

Ce nombre correspond à la disposition des cylindres.

L'arbre d'un moteur à deux cylindres en V a deux paliers.

L'arbre d'un moteur à quatre cylindres fondus par paires, en a trois en général.

L'arbre d'un moteur à quatre cylindres monobloc n'en a que deux.

Par contre, l'arbre d'un moteur à quatre cylindres séparés en a cinq.

- 2° Un certain nombre de manetons sur lesquels sont articulées les têtes de bielles.

- 3° Des bras de manivelle réunissant les manetons et les tourillons.

- 4° Une embase pour l'attache du volant.

- 5° Une broche pour la manivelle de mise en marche.

- 6° Les contrepoids, s'il y a lieu, nécessaires à l'équilibrage.

L'arbre est établi avec beaucoup de précision. Il est fait en acier

spécial de premier choix (acier au nickel chrome ou acier manganosiliceux).

b) Tourillons. — Manetons. — Portées. — Les tourillons doivent être exactement centrés sur le même axe et l'axe de chaque maneton doit être exactement parallèle à celui des tourillons.

Les angles de calage doivent être donnés avec toute la précision désirable.

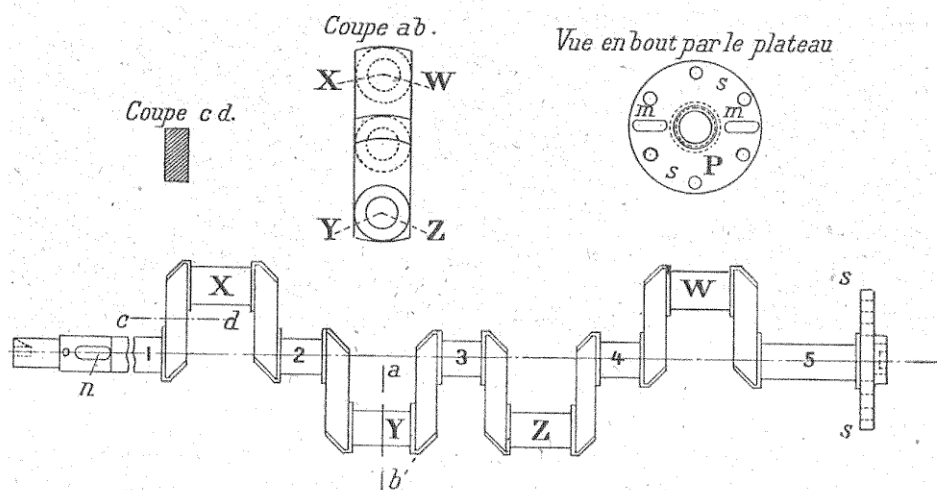


Fig. 37. — Vilebrequin à cinq paliers de moteur à quatre cylindres (Panhard).

Toutes les portées, c'est-à-dire toutes les parties du vilebrequin qui reposent dans des coussinets doivent être travaillées avec le plus grand soin.

Les tourillons doivent avoir une épaisseur suffisante pour permettre un bon graissage (voir graissage).

On leur donne le même diamètre pour faciliter la construction, bien qu'ils n'aient pas à supporter les mêmes efforts.

Le tourillon placé plus près du volant doit résister à un effort de torsion beaucoup plus grand que les autres; quant au tourillon avant, il ne travaille à la torsion qu'au moment de la mise en marche.

Les portées des manetons doivent être constituées pour permettre un bon graissage. Les manetons doivent résister à des efforts de cisaillement et de flexion.

L'arbre vilebrequin est soumis, par conductibilité, à une température supérieure à celle du carter, il faut donc prévoir dans les portées extrêmes le jeu nécessaire à sa dilatation.

Les vilebrequins étaient faits autrefois en acier doux cémenté et trempé, mais ils se déformaient à la trempe, il fallait les rectifier, opération longue et délicate. Aujourd'hui, on les fait en général à la presse et on les finit au tour ou quelquefois même à la meule.

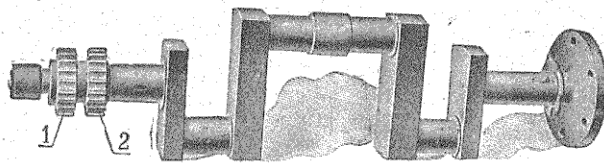


Fig. 38. — Vilebrequin à deux paliers (de Dion).
1, Pignon commandant la pompe à huile et la magnéto.
2, — l'arbre de distribution.

Avant d'employer un vilebrequin, on s'assure qu'il est équilibré, c'est-à-dire que lorsqu'on place ses tourillons extrêmes sur des couteaux, il reste en équilibre indifférent.

436. Volant. — Le volant est en fonte, mais pour les moteurs à grande vitesse, il est préférable de le faire en acier coulé, lequel est beaucoup plus résistant. Le volant prend en effet, pour de grandes vitesses angulaires, une vitesse périphérique considérable qui pourrait le faire éclater.

Le calcul des dimensions du volant est indiqué au § 454.

Le montage du volant sur le vilebrequin se fait, soit :

1° Par un plateau venu de forge avec l'arbre. Dans ce cas, le plateau est fixé au volant par des rondelles en acier qui s'encastrent sans jeu d'une part sur le plateau, d'autre part dans le logement ménagé dans le volant pour recevoir ce plateau. Des boulons maintiennent le volant contre le plateau, mais l'entraînement est assuré par les rondelles.

2° Par cône et clavette. Dans ce cas, le volant vient s'enfiler sur le cône porté par l'arbre et maintenu par une ou deux clavettes.

De toute façon, il est nécessaire que le volant soit assemblé sans le moindre jeu.

3. — COMMANDE DE DISTRIBUTION

137. Moteurs à soupapes et sans soupapes. — Dans les moteurs à soupapes, la distribution s'effectue au moyen de soupapes, dans les autres, elle s'effectue par le moyen de fourreaux, de distributeurs.

Nous étudierons d'abord les moteurs à soupapes qui sont les plus anciens et les plus répandus. Dans ces moteurs la distribution comprend les organes suivants :

- 1° Soupapes;
- 2° Guides de soupapes;
- 3° Poussoirs dont la longueur est en général réglable;
- 4° Cames montées sur un arbre dit « arbre à cames ».

138. Soupapes. — Les soupapes peuvent être classées en :

- 1° Soupapes d'aspiration. Elles règlent l'admission du mélange frais;
- 2° Soupapes d'échappement. Elles règlent l'expulsion des gaz brûlés.

139. Soupape automatique. — Il est facile de concevoir une soupape automatique. Les clapets des pompes sont des soupapes automatiques. Suivant leur disposition, ils s'ouvrent dans un sens ou dans l'autre dès que la pression sur une de leurs faces est supérieure à celle qui s'exerce sur l'autre.

Seules les soupapes d'admission peuvent être automatiques.

Si nous disposons sur la culasse du cylindre une soupape pouvant s'ouvrir du dehors en dedans, on voit que, poussée par la pression atmosphérique, elle s'ouvrira pendant l'admission, mais qu'elle restera fermée pendant les trois autres temps.

Au contraire, une soupape d'échappement ne peut être automatique, car devant s'ouvrir de dedans en dehors sous la pression des gaz brûlés pour laisser passer ceux-ci, elle s'ouvrirait également à la fin de la compression et laisserait alors passer les gaz frais.

La soupape automatique comprend simplement :

- 1° Un plateau muni d'une tige;
- 2° Un siège sur lequel s'applique le plateau;
- 3° Un ressort de rappel.

Un guide reçoit la tige de la soupape.

Le ressort n'est pas théoriquement indispensable au bon fonctionnement de la soupape.

On l'emploie pour éviter toute perte de gaz au début de la compression.

140. Inconvénients de la soupape automatique. — La soupape automatique a l'avantage d'être très simple. Elle n'exige aucune commande.

Par contre, elle peut coller sur son siège et ne pas s'ouvrir.

Elle peut, au contraire, par suite de la présence d'une crasse que le ressort de rappel est insuffisant à écraser, rester ouverte après la fin de l'aspiration.

Il est difficile de régler la tension du ressort, et si cette tension est bonne pour une certaine allure, elle est mauvaise pour toute autre.

Ce réglage est d'ailleurs peu durable, par suite de la modification que produisent dans le ressort les échauffements dus à l'explosion.

Remarquons que cette tension ne peut dépasser une certaine limite, car il faut que la soupape puisse s'ouvrir sous l'influence de la dépression qui s'exerce sur la surface de la soupape, effort augmenté du poids de celle-ci si elle se déplace de haut en bas ou diminué dans le cas contraire.

Aux allures lentes, on n'a aucun avantage à employer un ressort puissant. Celui-ci produirait un retard à l'ouverture de l'admission qui diminuerait la valeur du volume admis.

Mais, lorsque la vitesse est plus considérable, on aurait avantage à employer un ressort plus fort. Le petit retard à l'ouverture qu'il provoque est, comme nous l'avons vu, avantageux. De même, la fermeture se fait avec un léger retard dû à ce que les gaz, pour une vitesse angulaire élevée, se précipitent dans le cylindre avec une certaine force, suffisante pour empêcher la fermeture brusque, la tension du ressort ne pouvant jamais être très considérable.

Les soupapes automatiques ont un autre défaut : on ne peut employer des soupapes trop larges, car leur inertie donnerait du retard à l'ouverture.

On emploie donc des soupapes à grande levée, mais le temps que met la soupape pour se déplacer n'est pas négligeable vis-à-vis du temps que met le piston à parcourir sa course.

Enfin, il est difficile, dans les moteurs à plusieurs cylindres, de les faire fonctionner dans des conditions identiques.

Nous avons d'ailleurs vu que, pour un moteur donné, l'ouverture et la fermeture des orifices d'admission doivent se faire dans des conditions déterminées et se reproduire avec une très grande précision dans chaque cylindre pendant toute la durée du fonctionnement.

Cette précision ne peut être obtenue que par une commande mécanique. Aussi les soupapes automatiques sont-elles abandonnées.

141. Soupapes commandées. — Les soupapes ne travaillent pas dans les mêmes conditions à l'aspiration et à l'échappement.

Cependant pour assurer l'interchangeabilité des pièces, on ne fabrique qu'un seul type de soupapes.

Les soupapes commandées comportent les mêmes pièces que les soupapes automatiques, plateau, tige, siège, ressort, guide.

Toutefois, leur ressort de rappel est beaucoup plus puissant, car c'est lui qui commande la fermeture de l'orifice et les tiges ou queues sont disposées de manière à recevoir l'impulsion qui leur sera donnée par la commande.

Plateau et siège. — Les soupapes sont à siège plat ou conique.

Les premières offrent aux gaz un passage a de section supérieure à celui b que donne la soupape conique (fig. 39).

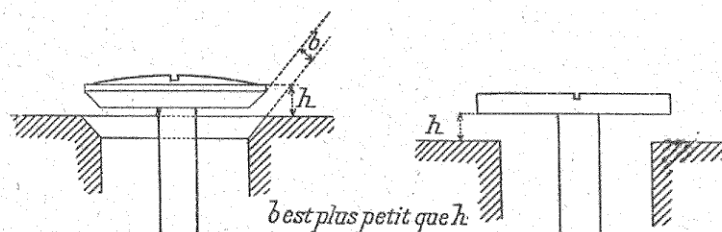


Fig. 39.

Mais la soupape conique se centre d'elle-même sur son siège alors que l'autre n'est dirigée sur son siège que par le guidage de sa tige.

Par suite, la soupape à siège plat obture mal dès qu'il y a usure de la tige ou encrassement du siège, de plus la déformation due à

l'action des gaz chauds sur la soupape d'échappement est plus grande avec la soupape plate qu'avec la soupape conique. Cette dernière est donc la plus employée.

Dans les cylindres à chapelles latérales, un bouchon vissé sur la chapelle en regard de chacune des soupapes, en permet le démontage lorsqu'on veut les rôder ou les nettoyer (§ 142). Ces bouchons sont munis de joints plastiques destinés à assurer leur étanchéité.

Les dimensions des soupapes sont fixées par les conditions suivantes : leur diamètre et la hauteur dont elles se lèvent doivent être tels qu'ils assurent au gaz la plus large section possible de passage, leur poids doit être aussi réduit que possible afin qu'elles obéissent sans retard aux impulsions qu'elles reçoivent de la commande ou du ressort de rappel (ouvertures et fermetures brusques).

On est donc conduit, lorsqu'on désire obtenir une très grande section de passage, à employer deux soupapes de chaque espèce au lieu d'une.

Tige. — La tige de la soupape d'aspiration ne supporte pas d'autre effort que celui qui vient de la résistance du ressort de rappel. La tige de la soupape d'échappement doit avoir une section telle qu'elle puisse résister à l'effort provenant de la résistance du ressort de rappel et de la pression des gaz au moment de l'ouverture de l'échappement. Pour simplifier la construction on donne cette même section aux tiges des deux types de soupapes.

La tige de la soupape se raccorde au plateau par de larges congés. C'est ce raccord qui dans les soupapes d'échappement constitue le point faible, en ce sens que cette partie n'étant plus protégée par le guide, reçoit continuellement l'action des gaz à haute température.

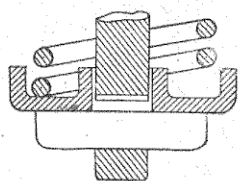


Fig. 40.

Ressort. — C'est un ressort à boudin dont la force doit être telle qu'elle assure une fermeture rapide. Autrefois le ressort était fixé dans son extrémité dans une mortaise pratiquée dans la tige. Actuellement le ressort repose sur une cuvette clavetée sur la tige (fig. 40).

Guide. — Les guides viennent en général de fonte avec les cylindres, ils sont alésés au diamètre des tiges avec un peu de jeu. Ils sont parfois rapportés.

142. Rodage. Nettoyage. — Les soupapes doivent porter rigoureusement sur leur siège, les surfaces portantes ne doivent présenter aucune défectuosité.

Quand l'adhérence de la soupape sur son siège n'est pas parfaite, il est nécessaire de roder la soupape. Cette opération se fait à l'aide de poudre d'émeri très fine dont on forme une pâte à l'aide d'un peu d'huile; on enduit de cette pâte la partie portante de la soupape, on la fait tourner à l'aide d'un tournevis, en l'appuyant sur son siège; le rodage est terminé lorsque les surfaces en contact sont très nettes.

Il faut ensuite faire disparaître tout l'émeri avant de remonter les soupapes, afin d'éviter une détérioration des cylindres.

Il est nécessaire de nettoyer parfois la soupape d'échappement. Il arrive en effet, lorsqu'il y a excès d'huile dans les guides, que cette huile colle et empêche le mouvement de la soupape. On la nettoie en injectant un peu de pétrole.

Fabrication. — Les soupapes (plateau et tige) sont faites en acier au nickel; elles sont obtenues par forgeage et décolletage, le ressort est fait en acier trempé.

143. Organes de commande de la distribution. — *a) Utilité.* — Ces organes sont ceux qui déterminent la commande des soupapes. Celle-ci se fait au moyen de poussoirs et d'un ou deux arbres à cames suivant que les soupapes sont ou non d'un même côté du moteur.

b) Arbre à cames. — On appelle came un bossage situé à la périphérie d'un arbre et non symétrique par rapport à l'axe de cet arbre. L'arbre à cames est commandé par le vilebrequin au moyen :

Soit de roues d'engrenage;

Soit d'une chaîne.

Les cames, calées sur l'arbre, agissent à chaque tour de l'arbre sur les poussoirs qui commandent les tiges des soupapes.

Les soupapes ne devant fonctionner qu'une fois tous les deux tours du vilebrequin, l'arbre à cames tourne à demi-vitesse de celui-ci.

L'arbre vilebrequin porte à cet effet à l'une de ses extrémités une roue d'engrenage qui actionne directement ou par le moyen

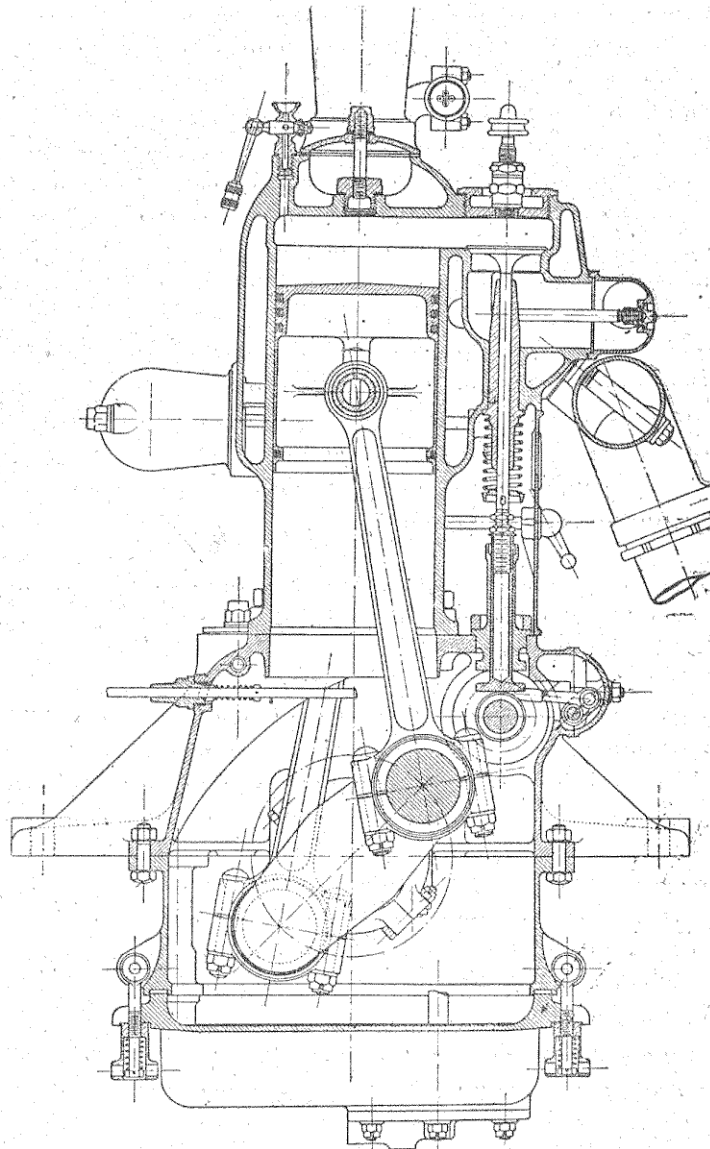


Fig. 41. — Coupe d'un moteur Renault (tracteur 1918) montrant en particulier la soupape d'admission (plateau, siège, guide, tige, ressort et poussoir réglable) et le carter des soupapes.

d'une chaîne, une roue de rayon double portée par chaque arbre à cames (fig. 42).

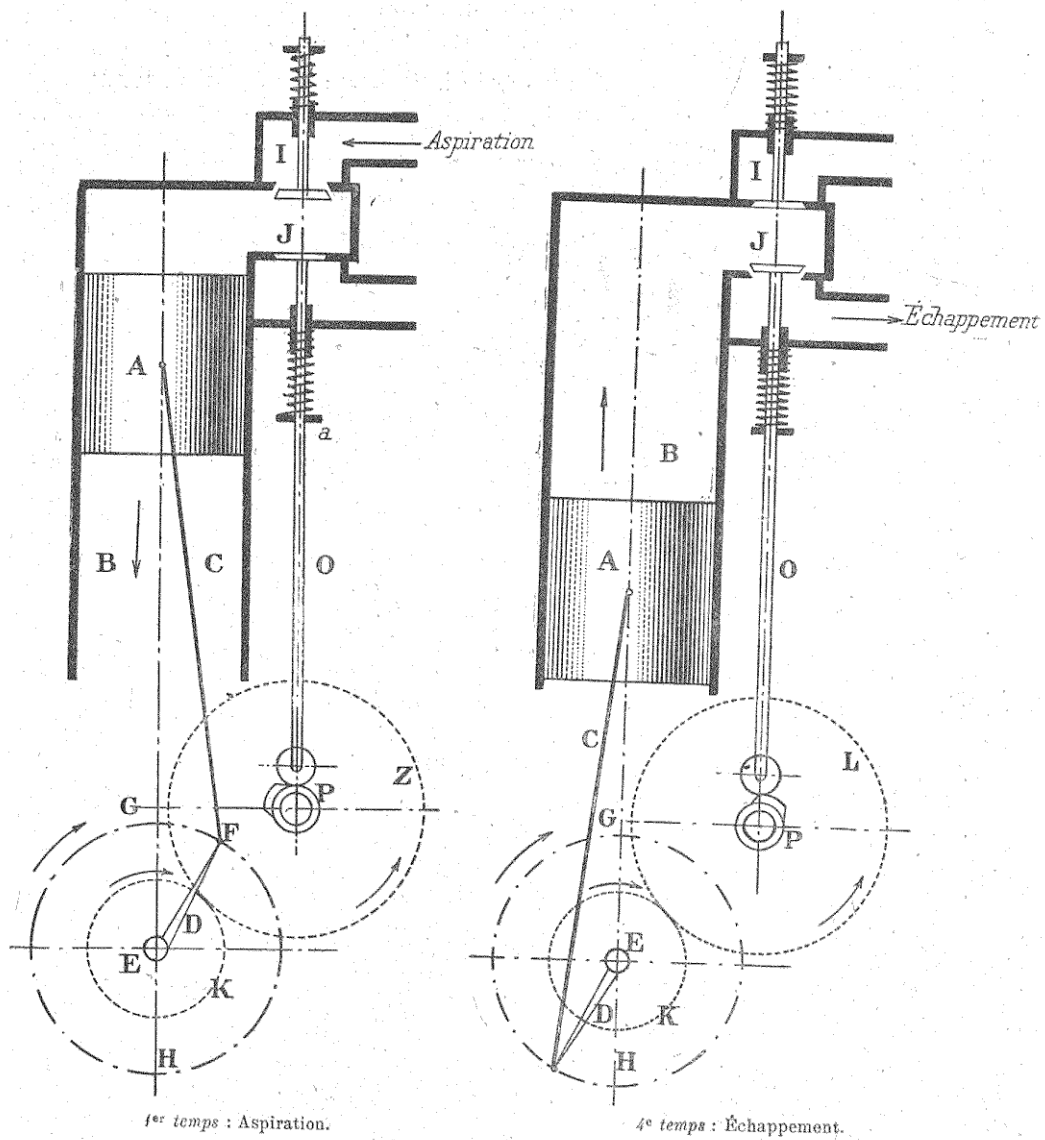


Fig. 42. — Commande de la soupape d'échappement.

L'arbre à cames porte le nombre de cames nécessaire. Elles sont

cémentées pour avoir plus de résistance à l'usure. Leur profil est déterminé pour ouvrir et fermer les soupapes au moment voulu et pour obtenir la fermeture dans le minimum de temps.

La came est prise dans la masse avec l'arbre. Les comes rapportées prennent du jeu, ce qui produit des troubles dans la distribution.

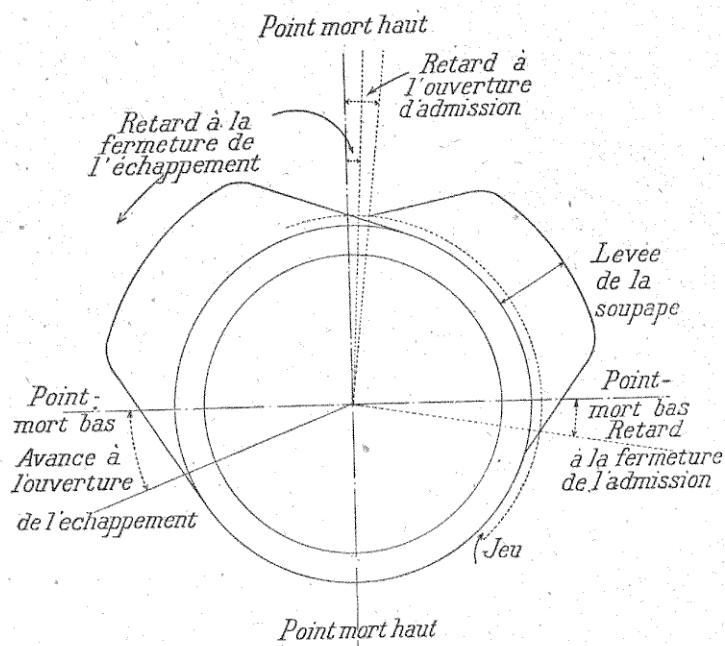


Fig. 43.

Tracé des cames (fig. 43). — Figurons l'arbre à cames vu en bout et fixons un repère qui correspondra au point mort haut (début de l'admission).

Nous pouvons fixer sur la section de l'arbre les points qui correspondent au début et à la fermeture de l'admission et de l'échappement, en prenant la précaution de compter les angles *pour la moitié de leur valeur*, puisque l'arbre à cames tourne moitié moins vite que l'arbre du moteur.

Came d'admission. — L'un des flancs de la came prend naissance au point correspondant à l'ouverture de l'admission et l'autre se

termine au point correspondant à la fermeture. Les flancs sont réunis par une partie cylindrique dont la distance à l'arbre est égale à la levée des soupapes augmentée du jeu.

Si le retard à l'ouverture est de 10° et le retard à la fermeture de 20° , l'arc occupé sur l'arbre à cames par la soupape d'admission sera donc

$$\frac{180^\circ}{2} + \frac{20^\circ}{2} - \frac{10^\circ}{2} = 95^\circ.$$

Came d'échappement. — Le même tracé se fait pour la came d'échappement.

Si le moteur a 40° d'avance à l'ouverture de l'échappement et 5° de retard à la fermeture, l'arc occupé par la came sera

$$\frac{180^\circ}{2} + \left(\frac{40^\circ}{2} + \frac{5^\circ}{2} \right) = 112^\circ 1/2.$$

c) *Poussoirs.* — Les cames n'agissent pas directement sur les queues de soupapes.

Dans les moteurs à chapelles latérales, les cames agissent sur des poussoirs qui sont des tiges d'acier dont l'une des extrémités, terminée en général par un galet, est maintenue par un ressort au contact de la came et dont l'autre est, au repos, à une petite distance (1 mm. environ) de l'extrémité de la tige de soupape.

Ce jeu de 1 mm. a pour but :

1° D'assurer la libre dilatation de la tige de soupape ;

2° De permettre une action plus brusque sur la soupape, le poussoir attaquant la tige avec une certaine vitesse.

Cette action brusque facilite le décollage de la soupape.

Les poussoirs possèdent un dispositif permettant de régler le jeu (vis ou écrou vissé sur l'extrémité du poussoir, et maintenu par un contre-écrou ; rondelles).

Les poussoirs se déplacent dans des guides qui sont, soit venus de fonte avec le cylindre, soit rapportés.

Pour éviter le bruit causé par le choc du poussoir et de la queue de soupape, on construit quelquefois le poussoir en deux pièces.

Dans le dispositif Hotchkiss (fig. 44) la partie inférieure du poussoir reste, par son galet, constamment en contact avec la came, tandis que la partie supérieure porte une petite cuvette dans laquelle pénètre la queue de la soupape, qui s'appuie sur des rondelles des-

tinées à régler le jeu obligatoire. Un ressort intérieur écartant les deux parties du poussoir, maintient constamment le contact de la partie inférieure avec la came et de la partie supérieure avec la

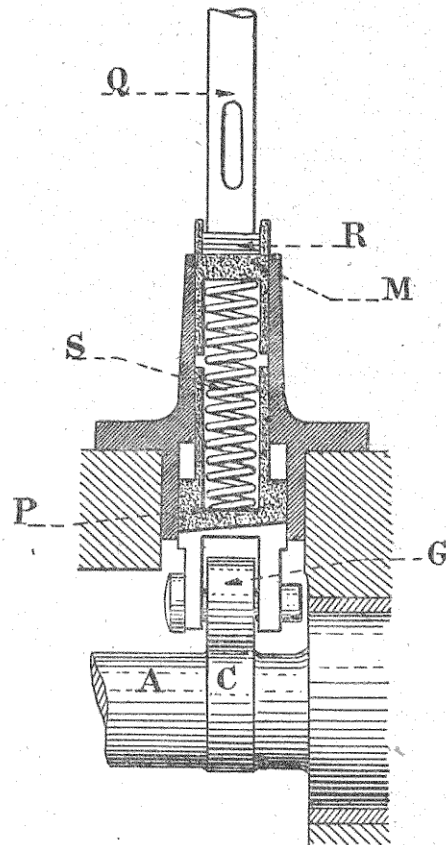


Fig. 44. — Détail de la commande des soupapes. (Moteurs Hotchkiss.)

A, arbre à cames; C, came; G, galet du poussoir; P, partie inférieure du poussoir; S, ressort; M, partie supérieure du poussoir; R, rondelles de réglage; Q, queue de soupape.

queue de soupape; de sorte que, lors de l'attaque de cette dernière, le choc se produit entre les deux parties du poussoir, c'est-à-dire à l'intérieur du guide. L'huile que celui-ci contient toujours contribue encore à amortir le bruit, qui est ainsi beaucoup moins perceptible que lorsque le choc a lieu à l'extérieur, entre poussoir et soupape.

Signalons aussi le dispositif « Chenard et Walcker », dans lequel les cames attaquent les poussoirs par l'intermédiaire de lames flexibles faisant ressort.

D'ailleurs, presque tous les moteurs modernes sont munis d'un carter de soupapes qui protège les dispositifs de commande et amortit le bruit.

d) Culbuteurs. — Dans les moteurs où les soupapes s'ouvrent sur la culasse même, elles sont commandées par l'intermédiaire de culbuteurs.

e) Commandes. — La commande des arbres à came, de la magnéto, de la pompe, etc. peut se faire par engrenage direct. Elle est alors un peu

bruyante; on la remplace souvent par une commande par chaînes silencieuses.

La figure 45 représente les commandes par chaînes de la distribution, de la pompe à l'huile, etc., dans un moteur De Dion.

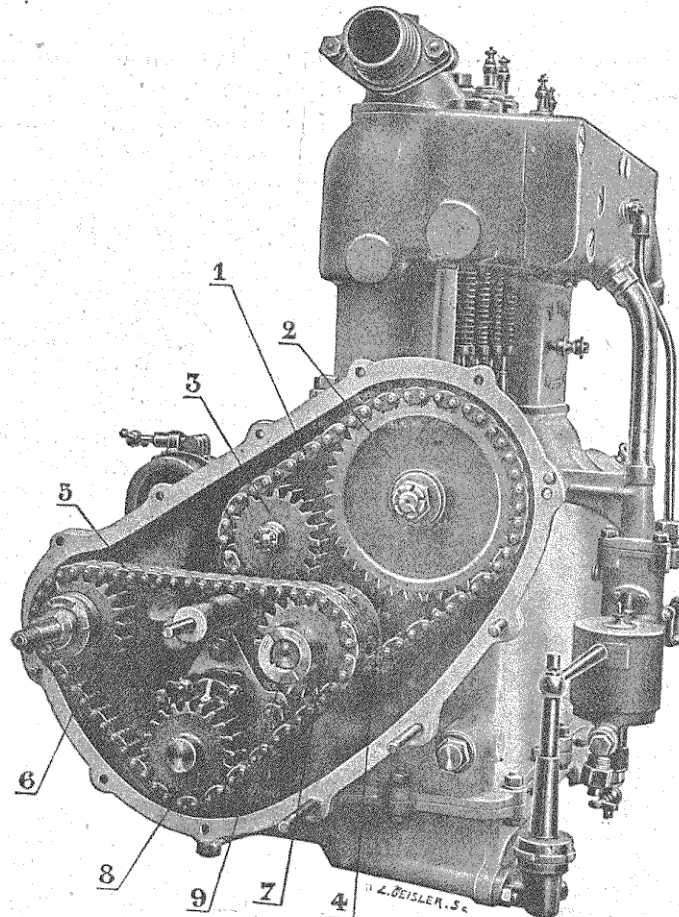


Fig. 45. — Moteur quatre cylindres, 12 chevaux, de Dion 1913, montrant les commandes par chaînes.

1, Chaîne de commande de l'arbre des cames; 2, Pignon de l'arbre des cames; 3, Pignon tendeur de la chaîne de commande de l'arbre des cames; 4, Pignon calé sur le vilebrequin commandant l'arbre des cames; 5, Chaîne de commande de la magnéto et de la pompe à huile; 6, Pignon de commande de la magnéto; 7, Pignon calé sur vilebrequin commandant la magnéto et la pompe à huile; 8, Pignon de commande de la pompe à huile; 9, Dent de loup de mise en marche.

Remarquons que la tension des chaînes peut être réglée dans ce dispositif :

1° Pour la commande de l'arbre à cames, par l'excentrique 3;

2° Pour les autres commandes, par un décalage possible de la pompe à huile.

On peut aussi employer pour les commandes des pignons hélicoïdaux.

Signalons enfin le dispositif Hotchkiss, 1913, pour éviter tout bruit dans l'attaque des pignons hélicoïdaux.

Le pignon de l'arbre à cames est constitué par une couronne

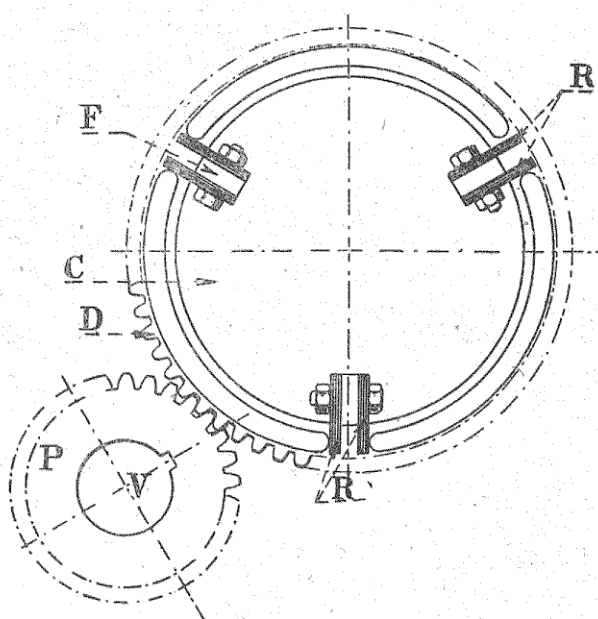


Fig. 46. — Pignon de distribution (Moteurs Hotchkiss).

V, vilebrequin; P, pignon du vilebrequin; C, couronne portée par l'arbre à cames; F, support des ressorts; R, ressorts à lames.

dentée réunie à une poulie portée par l'arbre à cames par l'intermédiaire de ressorts.

Ces ressorts sont calculés pour que leur flexion rachète le jeu qui peut se produire entre les dents en contact (fig. 46).

145. Décompresseur. — C'est un organe destiné à faciliter la mise en route des moteurs dont la puissance est assez grande.

Dans ces moteurs, l'effort à faire pour comprimer le mélange serait considérable. On fait partir le moteur sans compression.

Certains moteurs sont munis d'une soupape spéciale de décompression que l'on peut ouvrir à la main.

Dans d'autres (Renault, fig. 47), un doigt peut être interposé

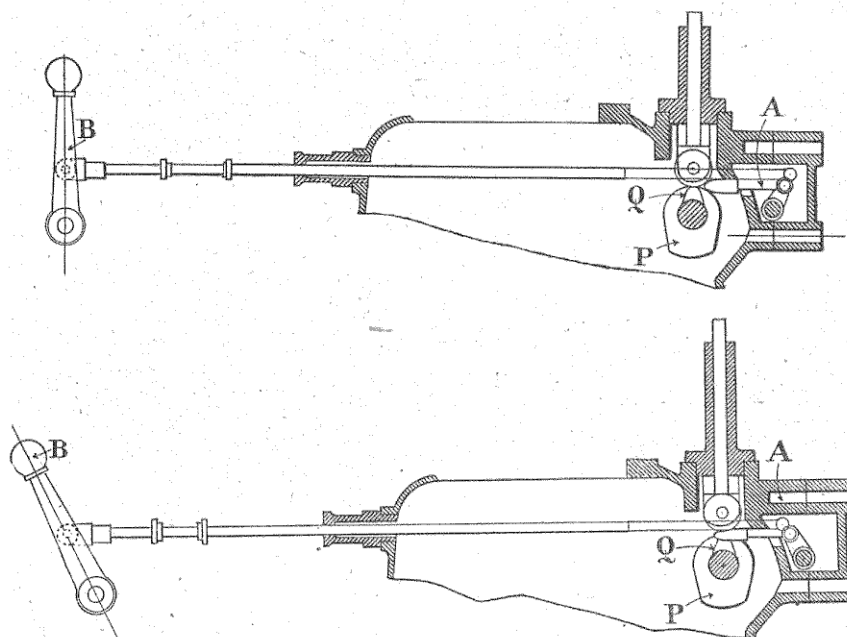


Fig. 47.

entre l'arbre à cames et le poussoir pour soulever celui-ci à la fin de la compression.

§ 4. — ÉQUILIBRAGE

146. But de l'équilibrage. — Le but de l'équilibrage est de faire disparaître, ou tout au moins d'atténuer les trépidations qui se font sentir sur une voiture automobile dès que le moteur est en marche.

Ces trépidations sont dues aux manifestations de l'inertie des pièces en mouvement et nous avons vu que ces forces d'inertie peuvent être rangées en deux catégories :

1° Forces d'inertie dues aux mouvements :

Les mouvements supposés réguliers de la bielle et de la mani-

velle, du piston et de la bielle, etc..., déterminent la production de forces d'inertie.

2° Forces d'inertie dues aux variations du couple moteur :

Ces variations font naître dans les pièces en mouvement des accélérations positives ou négatives auxquelles correspondent, comme nous l'avons vu, des forces d'inertie, lesquelles sont transmises au châssis par les pièces auxquelles elles sont appliquées.

Le châssis soumis à l'action de ses forces réagit, et il réagit d'autant mieux qu'il est lié au sol par l'intermédiaire de ressorts.

Les trépidations ainsi produites ont des effets désastreux sur la conservation du moteur et du châssis.

Équilibrer un moteur, c'est donc le disposer de telle manière que les forces d'inertie ne se traduisent pas à l'extérieur.

Le constructeur devra donc organiser le moteur pour que les forces d'inertie des organes en mouvement se balancent mutuellement et, si cela est nécessaire, il devra ajouter au moteur des pièces supplémentaires (contrepoids) dont les forces d'inertie seront égales et de sens contraire à celles que l'on veut annuler.

147. *Pièces en mouvement.* — Les pièces en mouvement du moteur peuvent être rangées en trois classes :

1° Les pièces animées d'un mouvement circulaire (arbre, manivelles).

2° Les pièces animées d'un mouvement alternatif (pistons, soupapes).

3° Les pièces dont le mouvement participe à la fois des deux mouvements ci-dessus (bielles).

148. *Équilibrage des forces centrifuges.* — 1° *Équilibrage d'une masse animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe.* — Soit

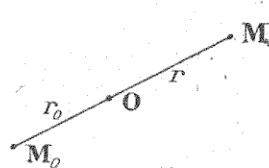


Fig. 48.

M , cette masse (fig. 48),
 r , la distance de son centre de gravité à l'axe,
 ω , sa vitesse angulaire.

La force d'inertie à laquelle elle est soumise par suite de son mouvement (force centrifuge) est :

$$M\omega^2 r.$$

Cette force tend à arracher la masse M de l'axe autour duquel elle tourne.

Pour équilibrer la masse M , on dispose une masse M_0 diamétralement opposée à M et située à une distance r_0 du centre.

Pour que l'équilibrage soit assuré, il faut que :

$$M\omega^2 r = M_0 r_0 \omega^2,$$

c'est-à-dire que

$$Mr = M_0 r_0.$$

Les deux masses doivent donc avoir le même moment par rapport à l'axe.

Si au lieu d'une masse M on a deux masses M_1 et M_2 dont les centres de gravité se trouvent dans un même plan normal à l'axe, il faut que la force $M_0\omega^2 r_0$ soit égale et opposée à la résultante géométrique des deux autres :

$$M_1 r_1 \omega^2$$

et

$$M_2 r_2 \omega^2,$$

ce qui conduit à prendre la masse M_0 de telle manière que les trois masses M_1 , M_2 et M_0 aient leur centre de gravité commun sur l'axe.

Ce résultat s'applique à des masses en nombre quelconque tournant dans un même plan de rotation.

Par conséquent :

Pour qu'un corps tournant autour d'un axe soit équilibré au point de vue de la force centrifuge, il faut que son centre de gravité se trouve sur l'axe.

2° *Équilibrage de deux ou plusieurs masses tournant autour d'un même axe dans des plans différents.* — Pour que l'ensemble de ces masses soit équilibré, il faut tout d'abord que son centre de gravité soit sur l'axe.

Mais cette condition, qui est absolument nécessaire, n'est pas suffisante.

Considérons, par exemple, l'arbre d'un moteur à deux cylindres calés à 180° (fig. 49).

Supposons la masse M de chacun des manetons concentrée à son centre de gravité.

Les forces centrifuges F appliquées à chacune de ces masses sont égales et de sens contraire, mais elles ne sont pas directement

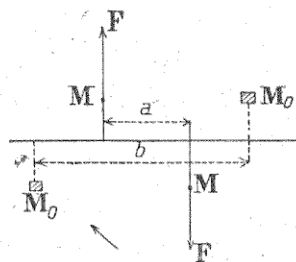


Fig. 49.

opposées. Elles forment donc un couple qui tend à faire tourner l'arbre dans le sens de la flèche.

Pour éviter cette réaction qui produit des efforts anormaux sur les paliers, il faut annuler le couple au moyen d'un couple de même valeur formé par les forces centrifuges appliquées à deux masses auxiliaires M_0 de même valeur, placées de chaque côté de l'arbre et éloignées d'une longueur b telle que

$$M_0 b = Ma.$$

149. Applications. — *a) Équilibrage d'un arbre à un seul maneton.* — Il suffira de placer dans le prolongement des bras, des masses égales chacune à la masse du bras augmenté de celle de la moitié du maneton et dont le centre de gravité soit à une distance de l'axe égale à la distance qui sépare l'axe du centre de gravité de l'ensemble bras-maneton. Dans ce cas l'équilibrage des forces centrifuges est complet, aucun couple ne prend naissance.

b) Équilibrage d'un arbre à deux manetons. — 1° *Calés à 0°.* — Ce problème est le même que le précédent.

2° *Calés à 180°.* — La somme géométrique des forces d'inertie est nulle, mais comme on l'a vu, ces forces forment un couple que l'on peut annuler par des masses convenablement disposées.

c) Équilibrage d'un arbre pour trois cylindres verticaux. — Les manetons sont calés à 120°. Comme précédemment, la somme géométrique des forces d'inertie est nulle, mais le moment résultant ne l'est pas. On équilibre avec des masses (fig. 50).

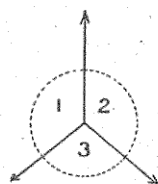


Fig. 50.

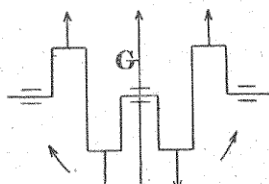


Fig. 51.

d) Arbre pour quatre, six et huit cylindres. — En disposant les manetons de telle manière que l'arbre soit symétrique par rapport à un plan perpendiculaire passant par son milieu, on voit que le vilebrequin est équilibré (fig. 51).

1° Le centre de gravité de l'ensemble est sur l'axe;

2° Le couple formé par les forces de droite est égal à celui formé par les forces de gauche et de sens contraire.

Si le vilebrequin était absolument rigide, les paliers ne supporteraient aucun effort. Comme le métal possède une certaine élasticité, le palier du centre est attiré vers le haut quand les paliers extrêmes sont attirés vers le bas. Aussi, certains constructeurs équilibrent l'arbre de leurs quatre cylindres comme s'il était composé de deux arbres calés à 180°.

Le même raisonnement s'applique aux arbres des six et huit cylindres dont les manetons peuvent être disposés symétriquement.

150. Force d'inertie due au mouvement alternatif d'une masse. — C'est le cas du piston et nous avons vu au § 107 comment se comportait la force d'inertie résultant uniquement de son mouvement. Nous avons vu que cette force était périodique, dirigée alternativement vers le haut et le bas, le changement de sens ayant lieu au milieu de chaque course et le maximum en valeur absolue aux points morts.

Cette force peut être représentée par une formule de la forme :

$$M\omega^2 r \cos\theta + M\omega^2 \frac{r^2}{l} \cos 2\theta.$$

M , étant la masse du piston ;

ω , la vitesse angulaire de la manivelle ;

r , le rayon de la manivelle ;

θ , l'angle que fait la manivelle avec la verticale.

l , la longueur de la bielle.

151. Équilibrage des forces d'inertie alternatives. — 1° *Moteur Gobron-Brillié.* — Le moteur Gobron-Brillié, à pistons opposés (§ 129), réalise l'équilibrage à peu près complet des forces d'inertie alternatives, celles-ci étant, dans chaque cylindre, égales et directement opposées.

2° *Moteurs monocylindriques du type habituel.* — On peut atténuer l'effet produit par la force d'inertie alternative, en disposant une masse M égale à celle du piston et diamétralement opposée au bouton de manivelle.

On sait en effet que la force d'inertie due au mouvement de cette masse (force centrifuge) sera

$$M\omega^2 r.$$

Cette force peut être décomposée en deux, l'une verticale ayant pour expression

$$M\omega^2r \cos\theta$$

et dirigée en sens contraire à celui de la force d'inertie du piston, l'autre horizontale

$$M\omega^2r \sin\theta.$$

L'adjonction de cette masse permet donc d'équilibrer la force d'inertie du piston, mais crée une nouvelle force qui agit dans une direction horizontale. L'effet de cette force étant moins nuisible que l'effet d'une force verticale, il y a intérêt à employer ce mode d'équilibrage.

3° *Moteurs polycylindriques.* — Dans le moteur à deux cylindres où les manivelles sont calées à 0°, l'équilibrage est le même que dans le moteur monocylindrique.

Le moteur à deux cylindres calés à 180° est de lui-même mieux équilibré que le précédent : les forces d'inertie des deux pistons dont l'un monte quand l'autre descend, sont égales et de sens contraire. Leur effet se traduit, non plus par des efforts verticaux dirigés alternativement de haut en bas et de bas en haut, mais par un couple qui tend à soulever alternativement les extrémités de l'arbre. Ce couple ne peut être équilibré que par des masses.

Dans le moteur à trois cylindres, on équilibre d'une manière à peu près satisfaisante les forces d'inertie au moyen de masses additionnelles mais on crée ainsi de nouvelles forces. En fait l'équilibrage de ce type de moteurs est très difficile à obtenir.

Les moteurs à quatre, six et huit cylindres ont leur vilebrequin symétrique par rapport à son milieu. De ce fait et si nous admettons la rigidité de l'arbre, les couples formés par les forces d'inertie se balancent et l'équilibrage est obtenu sans adjonction de masses additionnelles.

Remarquons toutefois que cet équilibrage n'est pas parfait; pour qu'il le soit, il faudrait que la force d'inertie due au mouvement d'un piston qui descend soit égale à celle du piston symétrique qui monte.

Or ce n'est pas tout à fait exact car, étant donnée l'obliquité de la bielle, les distances parcourues par le piston qui part du point mort haut sont, pour un certain angle de rotation de l'arbre, plus grandes que celles que décrit l'autre piston à partir du point mort bas. Il en résulte que l'accélération de ces deux pistons est diffé-

rente et par conséquent les forces d'inertie que leur mouvement fait naître.

152. Équilibrage des pièces à trajectoire complexe. — Chacun des points de la bielle suit une trajectoire elliptique (fig. 52), l'équilibrage en serait impossible, aussi, pour simplifier le problème, on admet qu'une partie du poids de la bielle est appliquée à la manivelle (mouvement circulaire) et l'autre au piston (mouvement alternatif).

153. Forces d'inertie dues aux irrégularités du couple moteur. — Les forces d'inertie étudiées ci-dessus sont dues aux mouvements supposés réguliers. Elles existent par le fait que des pièces sont en mouvement et cela indépendamment des causes qui produisent le mouvement. Mais en dehors de ces forces il en est d'autres dues à la variation de la force d'entraînement, comme nous l'avons vu au § 108.

Nous avons en effet une course motrice sur deux ou quatre, un effort résistant à vaincre lors de la compression, enfin pendant la durée de la course motrice la pression sur le fond du piston varie à chaque instant.

De plus, l'obliquité de la bielle fait que l'effort moteur transmis à la manivelle varie lui-même pendant la durée de la course motrice, et cela même si la pression sur le fond du piston, créatrice de cet effort moteur, restait constante.

Soit en effet (fig. 53) P la force motrice, c'est-à-dire la pression sur tout le fond du piston des gaz résultant de l'explosion. Supposons P constant, ce qui n'est pas. La force P est transmise par la bielle. Nous pouvons donc la décomposer en deux, l'une

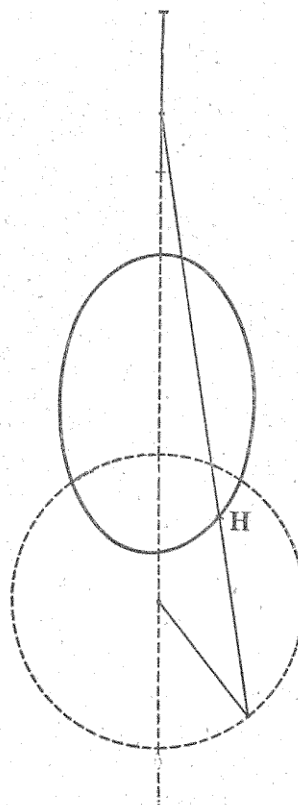


Fig. 52. — Trajectoire elliptique d'un point H de la bielle.

dirigée suivant la bielle : AR , l'autre perpendiculaire : AS (c'est cette force AS qui cause le frottement du piston contre le cylindre).

La force AR se transmet par la bielle au bouton M de la manivelle, elle est figurée par $MF = AR$.

A son tour, cette force MF est décomposée en deux : l'une MK est l'effort qui entraîne la manivelle, l'autre MJ n'exerce aucun effort moteur.

En suivant le déplacement du point M sur le cercle qu'il décrit, on constate que la force MK , nulle au point mort haut, croît, passe par un maximum et redevient nulle au point mort bas.

La force d'entraînement MK n'est donc pas constante alors même que P serait constant.

Les variations de l'effort moteur mettent en jeu, comme nous l'avons vu, des forces d'inertie. Pour les éviter on régularise le mouvement au moyen du volant.

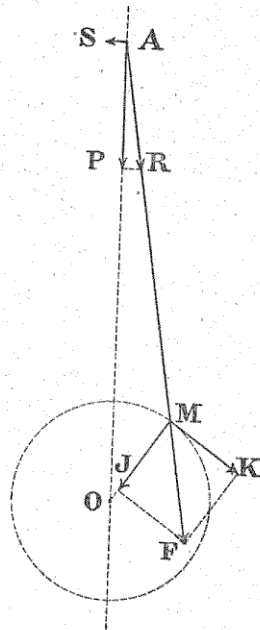


Fig. 53.

154. Volant. — *Le volant permet d'uniformiser la vitesse en absorbant l'excédent de travail moteur quand celui-ci dépasse la valeur moyenne, pour le restituer quand il tombe au-dessous de cette valeur.*

Accessoirement, il permet aussi d'emmagasiner dans le moteur une certaine quantité d'énergie lorsqu'on a besoin d'un effort supplémentaire. C'est ainsi, par exemple, qu'en augmentant la vitesse du moteur avant d'embrayer, on peut produire le démarrage en côte d'une voiture chargée.

Le volant fournit donc au moteur monocylindrique le travail nécessaire à la compression. Dans les moteurs à quatre, six ou huit cylindres, le travail nécessaire à la compression dans un cylindre est pris sur le travail fourni au même moment par les autres. Le volant est néanmoins indispensable en raison de la variation continuelle de l'effort moteur. La figure 54 donne une représentation de la variation de cet effort.

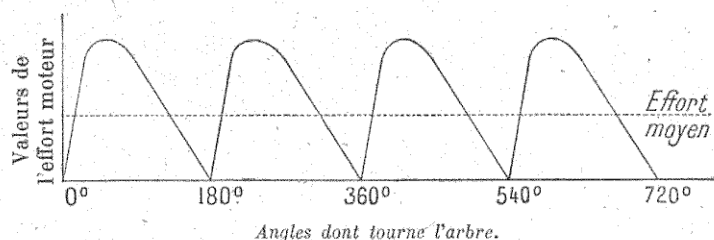


Fig. 54. — Variation de l'effort moteur dans un moteur à quatre cylindres.

Pendant une course motrice, le volant que nous supposons réduit à sa jante tourne à une certaine vitesse V_1 et si m est sa masse, l'énergie qu'il emmagasine est :

$$mV_1^2.$$

Une partie de cette énergie sera employée à produire l'entraînement du moteur jusqu'au moment où commence la course motrice suivante.

Si V_2 est à ce moment la vitesse du moteur, le travail fourni par le volant est donc

$$\frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{1}{2}mV_2^2.$$

Si l'on appelle T le plus grand excès de travail moteur sur le travail résistant qui puisse se produire dans le même temps,

$$T = \frac{1}{2}mV_1^2 - \frac{1}{2}mV_2^2.$$

La vitesse moyenne du moteur sera

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

d'où

$$T = mV(V_1 - V_2).$$

Il en résulte que pour que $V_1 - V_2$ soit petit, c'est-à-dire pour qu'il n'y ait pas trop de variations de vitesse, il faut que le volant soit très lourd et que sa vitesse soit grande.

On appelle coefficient de régularité d'un moteur le rapport $\frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2}$.

Plus ce coefficient est petit, plus le moteur tourne régulièrement.

En réalité, dans les voitures automobiles, le moteur ne tourne à sa vitesse de régime que lorsqu'il est embrayé, dans ce cas toute la voiture forme volant. Il suffit donc de calculer le volant pour qu'il permette au moteur de tourner au ralenti.

Calcul du volant. — Prenons le cas le plus général, c'est-à-dire celui du moteur à quatre cylindres. Traçons le diagramme des efforts moteurs que nous obtiendrons en portant suivant Ox les arcs décrits par les manivelles et suivant Oy la valeur de l'effort moteur exercé sur les manetons (force MK de la figure 53). Nous

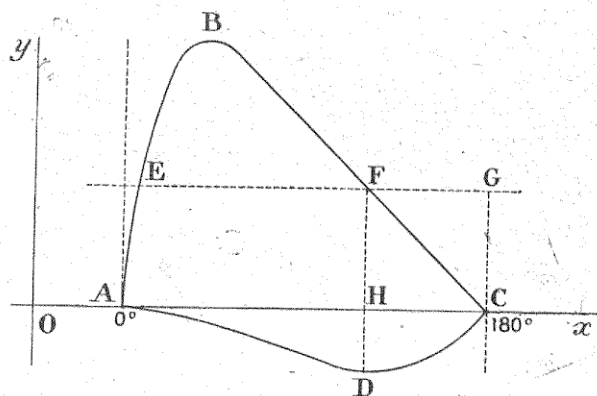


Fig. 55.

obtenons ainsi une succession de courbes semblables à celles de la figure 54. L'effort moteur reprenant la même valeur pour deux positions des manivelles différant de 180° , il suffit d'étudier ce qui se passe dans un intervalle de 180° .

Traçons donc le diagramme complet relatif à cet intervalle (fig. 55). L'arbre est soumis à des efforts de sens contraire. En effet, si l'un des cylindres est à la détente, les autres sont à la compression, à l'aspiration ou à l'échappement. En admettant que ces deux dernières opérations n'absorbent aucun travail, nous aurons sur notre diagramme deux courbes, l'une ABC , représentant la variation de l'impulsion agissant sur la manivelle d'un des cylindres, l'autre ADC celle de l'effort résistant dû à la compression dans un autre cylindre. C'est la résultante de ces deux efforts que nous avons figuré sur le diagramme de l'effort moteur représenté par la figure 54.

Le volant a pour rôle d'emmagasiner de l'énergie lorsque l'effort

moteur est supérieur à l'effort moyen représenté par EG. Cette énergie est représentée par

$$\text{aire EBF} - \text{aire AHD} = T$$

et l'on a, par construction même de EG :

$$\text{aire EBF} = \text{aire FCG} + \text{aire ADC},$$

puisque c'est le travail fourni en excès dans la première partie de la période qui doit fournir le travail nécessaire :

1° A maintenir la vitesse moyenne (ce qui nécessite un travail représenté par l'aire FCG);

2° A la compression dans un autre cylindre (ce qui nécessite un travail représenté par l'aire ADC).

Ceci étant posé, soit V la plus petite vitesse moyenne que le moteur doit être susceptible de prendre au ralenti et soit V_1 la vitesse maximum que prend le moteur tournant dans ces conditions.

Pour que le moteur ne cale pas, il suffit que sa vitesse, à la fin de la période envisagée, soit un peu supérieure à zéro. Soit V_0 cette vitesse. Nous pouvons avec une très grande approximation écrire :

$$V_0 = 0.$$

comme V est la vitesse moyenne, on a sensiblement

$$V = \frac{V_1 + V_0}{2} = \frac{V_1}{2}$$

d'où

$$V_1 = 2V.$$

La première formule du § 153 donne

$$T = \frac{1}{2}m(V_1^2 - V_0^2)$$

d'où

$$T = \frac{1}{2}mV_1^2 = 2mV^2$$

et

$$V = \sqrt{\frac{T}{2m}}.$$

Dans ces formules, les vitesses sont naturellement comptées en mètres par seconde.

Si par exemple la vitesse minimum moyenne est de 200 tours par minute,

$$V = \frac{200 \times 2\pi R}{60},$$

R étant le rayon du volant que nous avons supposé réduit à un cercle.

En réalité, le volant présente une forme annulaire (fig. 56).

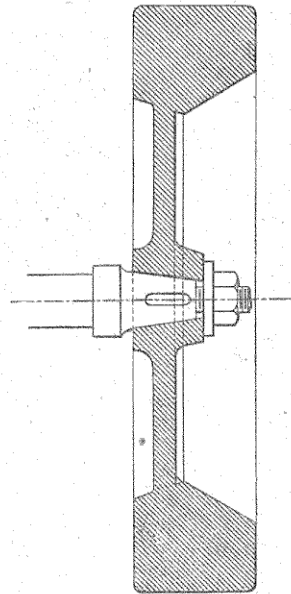


Fig. 56.

Soit R_1 le rayon extérieur de l'anneau, R_2 le rayon intérieur.

On démontre, en mécanique, qu'un volant ainsi constitué a même action qu'un volant de même masse, mais dont la masse serait concentrée sur une circonférence de rayon $R^{(1)}$ tel que

$$R = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}.$$

Si h est l'épaisseur de l'anneau, la masse de celui-ci est facile à calculer, connaissant le poids spécifique p du métal, on a en effet :

$$m = \pi (R_1^2 - R_2^2) h \frac{p}{9,81}.$$

L'équation

$$V = \sqrt{\frac{T}{2m}} = \frac{2\pi\omega R}{60} \quad (\omega = \text{vitesse angulaire})$$

devient

$$\frac{\pi\omega \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}}{30} = \sqrt{\frac{T}{2\pi(R_1^2 - R_2^2)h \frac{p}{9,81}}}.$$

Des raisons d'encombrement fixent en général la valeur de R_1 et de h , l'équation précédente fait connaître R_2 .

456. Action des forces sur le mécanisme. — Nous avons jusqu'ici étudié l'action des forces sur le châssis; des décompositions analogues à celles que nous avons faites permettent de voir quelle est l'action des forces sur les différentes parties du mécanisme.

1° Forces d'inertie centrifuges. — Elles exercent sur les pièces un

(1) On voit donc qu'on a intérêt à employer la forme annulaire qui, à poids égal a une action mR plus considérable que la forme plate.

effort de traction. Cet effort est particulièrement sensible dans le volant. Il faut donc que la partie centrale ait une section suffisante pour y résister. Même avec les volants en acier coulé, plus résistants que les volants en fonte, il est prudent de ne pas dépasser une vitesse périphérique de 40 à 45 m. à la seconde.

Nous avons vu précédemment que dans les moteurs à plusieurs cylindres, les forces formaient des couples exerçant sur l'arbre un effort de flexion.

2° *Forces d'inertie alternatives.* — La force d'inertie AF appliquée au piston peut à chaque instant se décomposer en deux (fig. 57) : une force AG dirigée suivant la bielle et une force AH perpendiculaire, qui détermine une pression sur le cylindre.

A son tour, la force AG transmise au maneton suivant MS , peut se décomposer en deux : l'une MI exerce sur la manivelle un effort de flexion, l'autre MK un effort de traction.

Enfin la force d'inertie agit sur l'arbre. Nous savons en effet que l'on peut remplacer la force MS par :

1° Une force ON égale et parallèle à MS et de même sens ;

2° Un couple formé par les forces MS et OL .

La force ON peut à son tour se décomposer en deux :

1° La force OV égale et parallèle à AF ⁽¹⁾

qui, dans le cas de la figure tend à élever les paliers de l'arbre ;

2° La force OQ égale et parallèle à AH , mais de sens contraire.

Dans un moteur à plusieurs cylindres, les forces telles que OV exercent sur l'arbre un effort de flexion. En particulier, dans le cas du moteur à quatre cylindres, ces forces forment des couples qui s'équilibrent si l'on admet la rigidité de l'arbre. En réalité ces forces exercent une flexion sur cet arbre.

(1) En raison de l'égalité des triangles ACF et ONV .

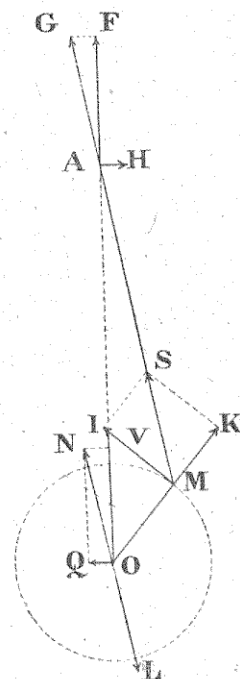


Fig. 57.

3° *Forces dues à la pression des gaz.* — Au moment de l'explosion, les gaz agissent :

- 1° Sur le fond du cylindre qu'ils tendent à soulever;
- 2° Sur le piston.

C'est cette pression AP (fig. 58) sur le piston qui se transforme en effort moteur, mais cette force a également une action sur le mécanisme qui la transmet.

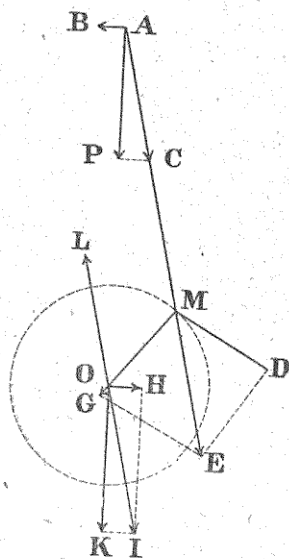


Fig. 58.

Une décomposition analogue à la précédente (fig. 58) montre que la pression détermine au moment de l'explosion sur le cylindre, une pression horizontale AB ; sur la manivelle une flexion MD et une compression MG ; sur l'arbre une action OK tendant à abaisser les paliers.

Il est facile de voir qu'au moment de l'explosion, l'action de la force d'inertie du piston agit en sens contraire de l'action de la pression explosive.

La force d'inertie diminue donc les efforts auxquels sont soumis les pièces au moment de l'explosion.

Remarquons qu'ici les efforts OK dans un moteur à plusieurs cylindres ne se produisent pas en même temps, mais se

succèdent. Chacun des manetons est donc soumis à son tour à cet effort (effet de cisaillement).

CHAPITRE VI

MOTEURS SANS SOUPAPES. — MOTEURS A DEUX TEMPS

1. MOTEURS SANS SOUPAPES. — Historique. — Moteurs à fourreaux alternatifs (Knight), à fourreaux tournants (C. L. C.), à distributeur (Darracq-Henriod). — Comparaison des moteurs à soupapes et sans soupapes.

2. MOTEURS A DEUX TEMPS. — Utilisation du carter. — Moteur Côte. — Moteur Legros. — Remarques sur l'emploi des moteurs à deux temps.

1. — MOTEURS SANS SOUPAPES

157. Historique. — Les premiers moteurs à explosion (Lenoir-Otto) étaient des moteurs à distribution par tiroirs et par conséquent sans soupapes; la difficulté d'assurer un bon graissage et d'empêcher l'échauffement dans les moteurs de ce type les avaient fait abandonner.

Tous les efforts des constructeurs s'étaient portés vers le perfectionnement des moteurs à soupapes, jusqu'au moment où l'apparition des moteurs Knight vint attirer à nouveau l'attention sur les moteurs « sans soupapes ».

158. Divers systèmes. — Il est facile de concevoir un système de distribution n'employant pas de soupapes et, de fait, les moteurs construits sur ce principe sont assez nombreux.

Ils peuvent néanmoins se rapporter aux types suivants :

1° Moteurs à fourreaux à mouvement alternatif (exemple : moteur Knight). Ce sont de beaucoup les plus répandus.

2° Moteurs à fourreaux tournants (exemple : moteur C. L. C.).

3° Moteurs à distributeur rotatif (exemple : moteur Darracq-Henriod).

159. Moteurs Knight. — Le moteur a la forme extérieure habituelle, mais le cylindre contient intérieurement deux fourreaux. Le piston se meut à l'intérieur du second fourreau.

Ces fourreaux reçoivent un mouvement alternatif par l'intermédiaire de bielles commandées par des excentriques, lesquels sont calés sur un arbre de distribution qu'une chaîne silencieuse entraîne à la demi-vitesse du moteur.

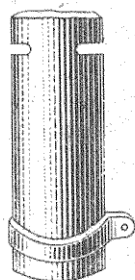


Fig. 59.

Ces fourreaux sont percés à leur partie supérieure d'orifices de forme allongée (fig. 59).

Par l'une, pénètrent les gaz frais, par l'autre, s'échappent les gaz brûlés.

La figure 63 donne l'analyse des opérations.

L'étanchéité du cylindre est assurée par les segments du piston d'une part et d'autre part au moyen de segments qui s'appliquent sur les fourreaux à leur extrémité supérieure (fig. 61 à 62).

160. Moteur C. L. C. — La distribution du moteur C. L. C. (fig. 60) se fait par un fourreau tournant qui forme pour ainsi dire le cylindre.

Ce fourreau est percé d'une lumière L qui, par le mouvement de rotation du fourreau, est amenée successivement en regard des orifices d'admission et d'échappement.

Un large segment qui recouvre le fourreau à la hauteur de la lumière L assure l'étanchéité, le passage des gaz se faisant par l'ouverture en biseau du segment dont les bords comprennent exactement la lumière. Un ergot empêche ce segment de tourner et d'autres segments placés de part et d'autre du précédent complètent l'étanchéité.

Le fourreau est commandé par des engrenages hélicoïdaux, au moyen d'un arbre A que le moteur commande par une chaîne. Il est guidé dans sa rotation par des roulements à bille B.

161. Moteur Darracq-Henriod. — Dans ce moteur, la distribution est assurée par un distributeur rotatif qui est constitué par un cylindre plein, sur la surface duquel sont taillées quatre encoches qui établissent la communication de chaque cylindre avec l'admission et l'échappement. Ce distributeur est placé perpendiculairement au cylindre et tourne à demi-vitesse du moteur (fig. 64 à 67).

Son mouvement est commandé par un arbre vertical qui engrène, au moyen de vis sans fin, d'une part avec un pignon porté par le vilebrequin, de l'autre avec un pignon porté par le distributeur.

Le distributeur n'est pas placé à la hauteur de la chambre de compression. A cette place, il était soumis à des températures extrêmes qui le détérioraient rapidement. On l'a placé un peu plus bas, assez loin de la chambre

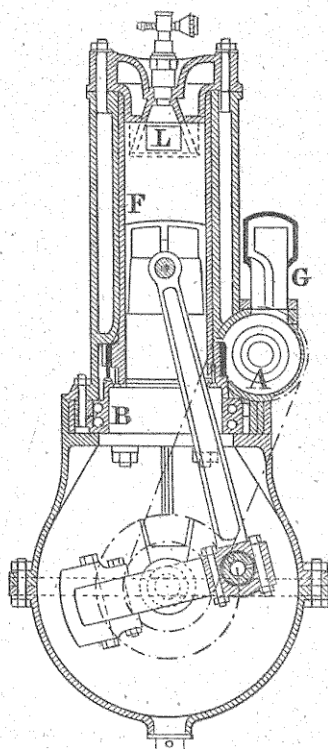


Fig. 60. — Coupe du moteur C. L. C. à fourreau tournant.

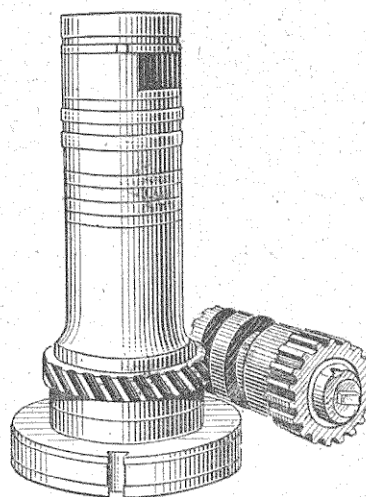


Fig. 60 bis. — Le fourreau du sans-soupapes C. L. C.

de compression pour n'avoir pas à souffrir des hautes températures, assez près pour que le remplissage du cylindre puisse se faire dans de bonnes conditions.

Le distributeur ne touche d'ailleurs en aucun point les parois du tunnel qui le renferme. Il est suspendu à chacune de ses extrémités par des roulements à billes et le joint hermétique est assuré par une couche capillaire d'huile. Ce joint ne doit d'ailleurs résister ni aux pressions les plus élevées, ni aux plus hautes températures. C'est, en effet, le piston seul qui assure l'étanchéité au moment de

l'explosion. Au moment où les gaz chauds sont en contact avec le distributeur, ils sont déjà détendus et refroidis.

On a fait à ce moteur le reproche de conserver dans le cylindre, après chaque explosion, un volume assez grand de gaz brûlés.

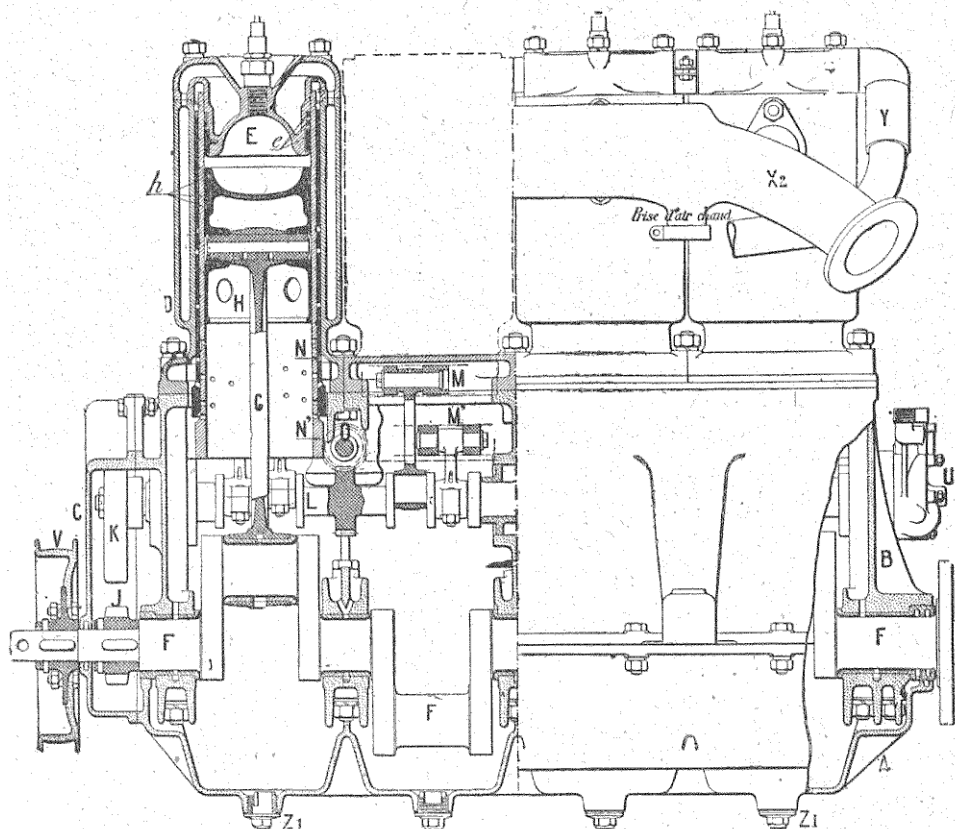


Fig. 64. — Moteur 20 HP, quatre cylindres. — Coupe longitudinale (Panhard-Levassor).

A, carter inférieur ou cuvette; B, carter supérieur; C, carter de chaîne; D, cylindre; E, culasse; e, segments de culasse; F, vilebrequin; G, bielle; H, piston.

D'après les essais, il semble que le rendement de ce moteur n'en est pas autrement affecté.

La figure 63 donne une vue du distributeur.

La figure 64 montre le fonctionnement du moteur et le dispositif de commande du distributeur.

162. Comparaison des moteurs sans soupapes et des moteurs à soupapes. — Les moteurs sans soupapes Knight ont prouvé non seulement qu'ils fonctionnaient, mais encore qu'ils étaient capables d'un travail absolument analogue à celui des moteurs à soupapes.

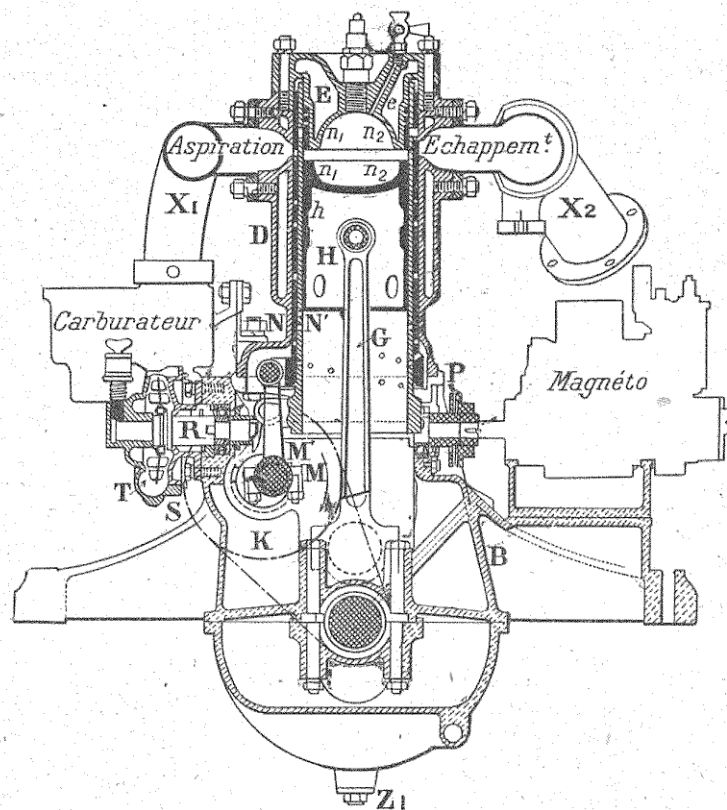


Fig. 62. — Moteur 20 HP, quatre cylindres. — Coupe transversale (Panhard-Levassor).

h, Segments de piston; *J*, pignon de chaîne; *K*, roue de chaîne; *L*, arbre à excentriques; *M*, bielle de commande de chemise intérieure; *N*, chemise extérieure; *N'*, chemise intérieure; *n, n', n''*, lumières des chemises; *O*, roue hélicoïdale et arbre de commande et magnéto; *P*, dispositif d'entraînement de la magnéto; *R*, arbre de pompe; *T*, roue à ailettes; *U*, pompe à huile; *V*, poulie de commande du ventilateur; *X, X₁*, tuyauteries d'aspiration et d'échappement; *Y*, tuyauterie de circulation d'eau; *Z₁*, bouchon de vidange d'huile.

On craignait, lors de l'apparition des premiers moteurs sans soupapes (Knight), un échauffement considérable produit par le frottement des fourreaux et même le grippage de ceux-ci.

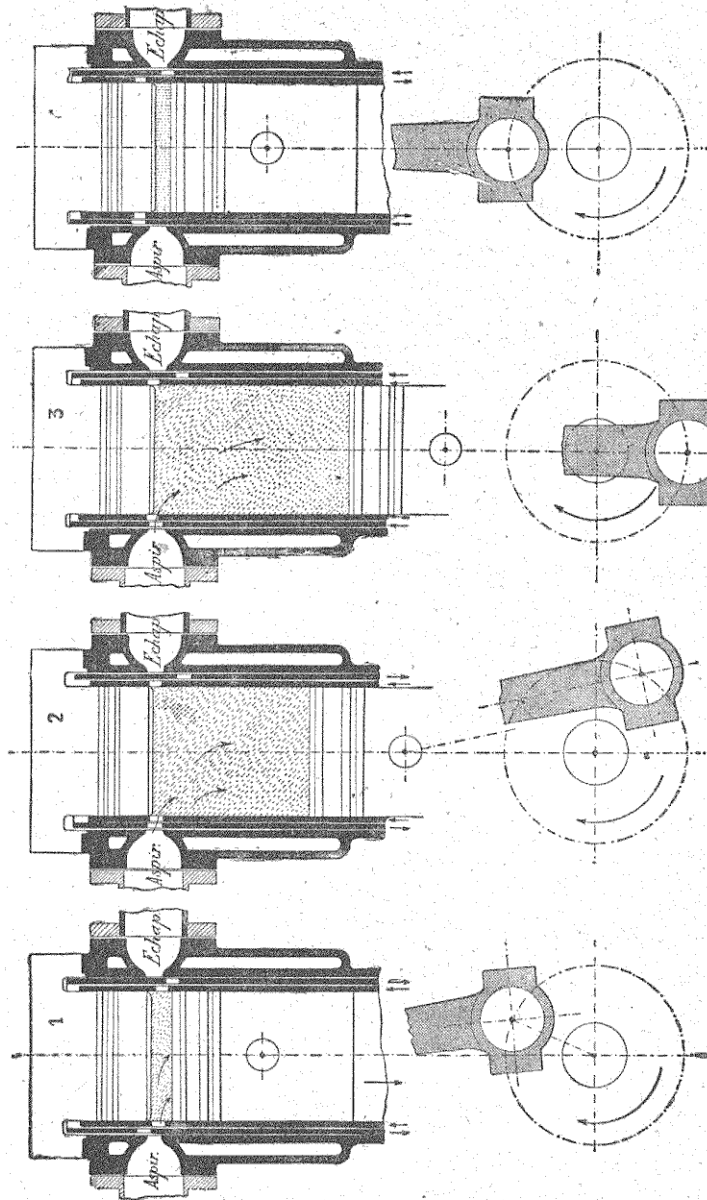


Fig. 63. — Positions successives.

1. Commencement du temps d'aspiration. La chemise extérieure descend, la chemise intérieure monte, déterminant une ouverture rapide de l'aspiration.
2. Ouverture maxima de l'admission.
3. Le piston est maintenant au bas de sa course, les deux chemises montent. La lumière d'admission est toujours ouverte pour permettre l'entrée continue du gaz dans le cylindre par sa propre inertie. Puis, les lumières se referment rapidement.
4. Le piston est en haut de course; les lumières d'admission et d'échappement sont toutes les deux masquées par le large segment dans la culasse du cylindre, faisant une chambre de compression irréprochable.

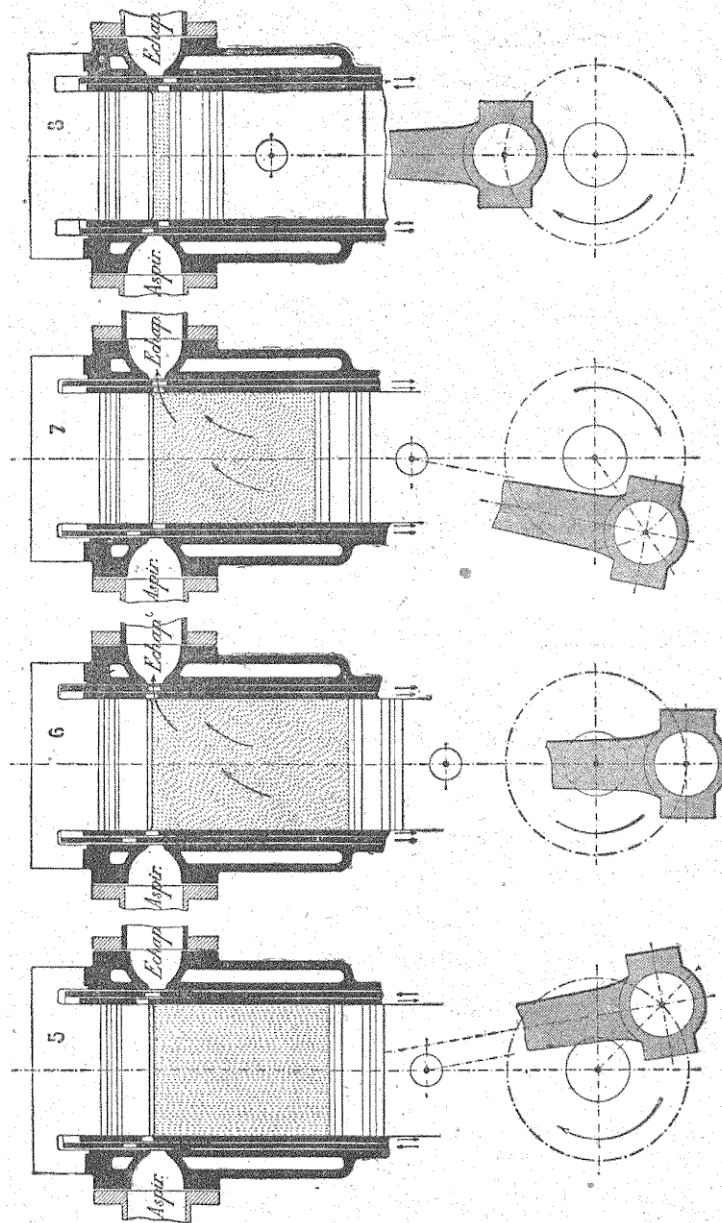


Fig. 63 (Suite). --- Positions successives.

5. Ouverture des lumières d'échappement après le temps d'explosion. Les deux chemises descendent, la chemise intérieure plus rapidement que la chemise extérieure. La figure représente la lumière d'échappement s'ouvrant lorsqu'elle quitte le large segment de la culasse du cylindre.
6. Le piston est maintenant au bas de sa course; à ce moment la lumière d'échappement est ouverte.
7. Montre l'ouverture maxima de l'échappement.
8. Fin du temps d'échappement. La chemise extérieure descend et la chemise intérieure monte, déterminant une fermeture rapide de l'échappement.

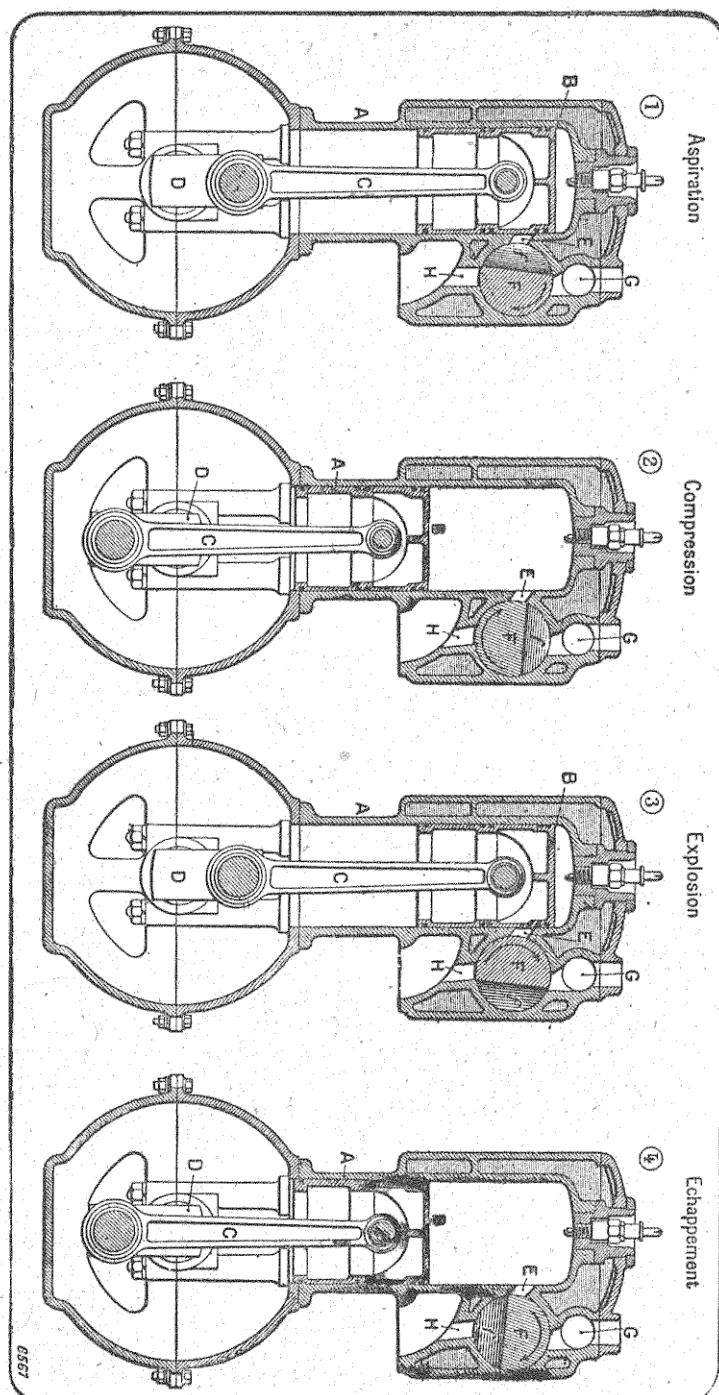


Fig. 64.

L'expérience a montré que le graissage par les procédés en usage pour les moteurs à soupapes était suffisant. Le graissage doit cependant être un peu plus abondant.

Par contre, le moteur sans soupapes présente sur le moteur à soupapes un certain nombre d'avantages.

Il permet une marche silencieuse à toutes les allures et longtemps encore après la mise en service du moteur.

L'adoption de certains dispositifs et le calcul bien compris des cames permettent à des moteurs à soupapes spécialement étudiés, de marcher sans bruit. Mais, par suite de l'usure de la tige de soupape et de son guide, la distribution n'est plus aussi silencieuse après un certain temps de travail.

D'autre part, la distribution du moteur sans soupapes est mieux assurée.

Le moteur à soupapes ne commande que l'ouverture des orifices. La fermeture s'obtient par l'action d'un ressort.

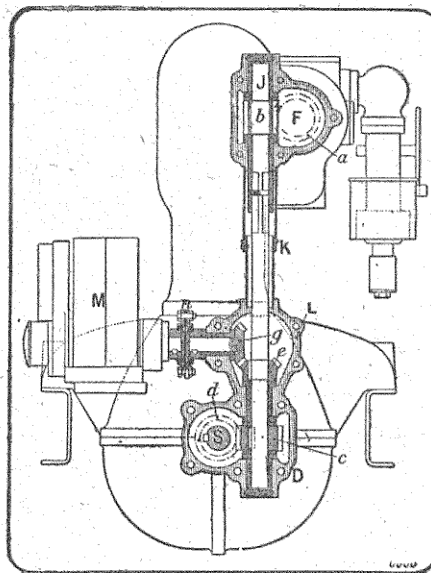


Fig. 64 bis.

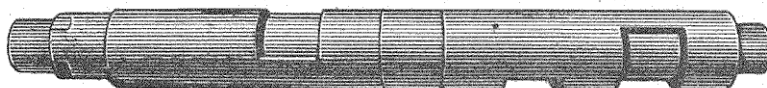


Fig. 65.

Pour obtenir un bon remplissage aux allures vives, on donne à l'admission et à l'échappement des avances et des retards, mais pour profiter entièrement de ces modifications, il faut que les orifices soient aussi largement ouverts que possible dès que commence le mouvement des gaz, et qu'ils se ferment brusquement afin de

diminuer le laminage des gaz à travers de petites ouvertures, ce qui cause une perte de charge.

Dans les moteurs à soupapes, il faudrait donc employer des cames à pentes accusées et des ressorts puissants.

Ces derniers donneraient lieu sur les poussoirs à des réactions

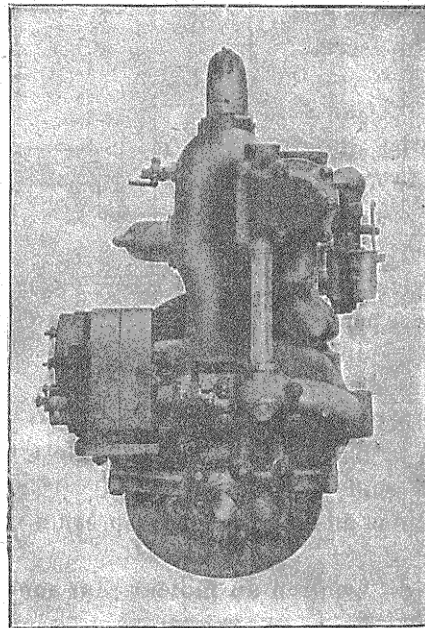


Fig. 66.

qui auraient vite usé la distribution et à des chocs qui pourraient même déterminer la rupture des soupapes.

On ne peut donc arriver au remplissage parfait de la cylindrée aux vives allures, surtout dans les voitures de tourisme où l'on ne pratique par cylindre qu'un orifice d'admission et un d'échappement.

Le taux de remplissage ne dépasse guère 85 p. 100 pour les véhicules de tourisme à soupapes et atteint 90 p. 100 dans des moteurs de course pourvus de deux soupapes d'aspiration et deux soupapes d'échappement par cylindre.

De plus, la présence des soupapes disposées dans des chapelles

latérales (ce qui est actuellement le cas le plus général) oblige à créer deux coudes dans la tuyauterie.

Au contraire, dans le moteur sans soupapes et particulièrement dans les moteurs à fourreaux, ceux-ci peuvent être disposés pour que les ouvertures de passage des gaz soient dès le début bien ouvertes et se ferment avec rapidité. Le laminage est ainsi réduit

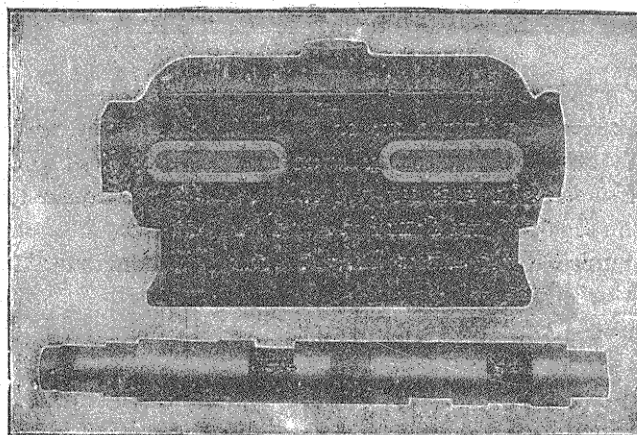


Fig. 67.

au minimum et le taux de remplissage atteint 90 p. 100, même sur des moteurs de tourisme.

La distribution, qui ne comprend ni cames, ni ressorts, est pratiquement indé réglable et toujours silencieuse. Elle est complètement équilibrée et son fonctionnement se fait sans qu'il y ait à vaincre une force antagoniste, alors que dans le moteur à soupapes, la soupape d'échappement supporte à l'ouverture une pression qui n'est pas négligeable.

De plus, les deux coudes de la tuyauterie auprès des soupapes sont évités.

Il est vrai que la soupape a l'avantage de brasser le mélange, mais avec les grandes vitesses linéaires de piston que l'on adopte aujourd'hui, le brassage dans le cylindre est complet.

En regard de ces avantages, les difficultés que l'on rencontre dans l'établissement d'un sans-soupape sont l'obtention d'une étanchéité aussi parfaite que possible et d'un bon graissage des

organes en mouvement. La pratique a montré que le moteur type Knight remplissait ces deux conditions. Le seul reproche qu'on puisse faire aux moteurs de ce modèle, est que les pannes de distribution y sont beaucoup plus graves qu'avec le moteur à soupapes, encore sont-elles très rares.

2. — MOTEUR A DEUX TEMPS

163. Comparaison entre les moteurs à quatre et à deux temps. — Le moteur à deux temps ne se différencie du moteur à quatre temps, que parce qu'il supprime les courses d'admission et d'échappement, mais la compression préalable, la longueur de la course motrice sont les mêmes dans les deux moteurs.

Le moteur à deux temps devrait donc présenter sur l'autre des avantages précieux.

Malheureusement la pompe auxiliaire qui produit l'admission du mélange frais absorbe une certaine quantité du travail produit et, ce qui est plus grave, le remplissage du cylindre se fait dans des conditions assez défectueuses.

Il ne faut pas penser, en effet, que l'afflux du gaz frais chassera devant lui, sans se mélanger à eux, les gaz brûlés et que les orifices pourront être convenablement réglés de telle façon que l'échappement soit fermé au moment où tous les gaz brûlés et ceux-là seulement auront quitté le cylindre. En réalité, on perdrait une quantité considérable de mélange frais si l'on voulait purger complètement les cylindres.

Dans les moteurs *fixes* à deux temps, on fait précéder l'admission du mélange frais d'une chasse d'air au moyen d'une seconde pompe auxiliaire.

Mais on ne peut recourir à ce procédé que pour des moteurs tournant à des vitesses relativement faibles, puisque dans une seule course du piston il faut produire une chasse d'air, une admission de gaz et une compression de ceux-ci.

Or, les moteurs d'automobile doivent tourner à des vitesses assez considérables. Ils doivent être légers, c'est-à-dire donner une grande puissance pour un poids aussi réduit que possible et l'on conçoit que le nombre de courses motrices et par conséquent le

travail fourni par unité de temps est d'autant plus considérable que la vitesse de rotation est plus grande.

La chasse d'air est donc impraticable dans les moteurs d'automobile. Outre qu'elle exigerait des dispositifs compliqués, elle ne permettrait plus l'introduction dans le cylindre d'une cylindrée complète de mélange frais.

Ces inconvénients et leur complication limitent donc l'emploi des moteurs à deux temps dans l'automobile, d'autant plus que l'emploi des moteurs polycylindriques remédie aux inconvénients du moteur à quatre temps, puisqu'il est possible d'utiliser pour un moteur à deux cylindres une course motrice par tour de l'arbre, pour un moteur à quatre cylindres, deux courses motrices par tour, etc....

Nous donnerons ci-dessous, simplement à titre d'exemple, quelques indications sur les moteurs à deux temps déjà construits.

164. Emploi du carter. — Nous avons vu que les moteurs à deux temps devaient comporter un dispositif ou pompe auxiliaire permettant l'introduction des gaz frais dans le cylindre.

On s'est tout d'abord proposé de constituer la pompe auxiliaire au moyen du piston lui-même et du carter du moteur; mais le carter n'est jamais étanche, l'air extérieur peut pénétrer par les paliers au moment de l'aspiration; d'autre part, une petite quantité de gaz brûlés peut, lorsque les segments du piston ne s'adaptent pas exactement aux parois, passer du cylindre dans le carter. Enfin le mélange carburant doit circuler au milieu des pièces chargées d'huile, ce qui ne va pas sans quelques inconvénients, l'essence étant un bon dissolvant de corps gras.

La figure 68 représente un moteur de ce type. Voici comment il fonctionne :

Supposons le moteur en haut de sa course et la chambre de compression remplie du mélange gazeux, l'explosion se produit, le piston est chassé vers le bas, et lorsqu'il a dépassé la lumière d'échappement D, les gaz brûlés peuvent s'échapper au dehors. Comme, en même temps que le piston descend, les gaz frais qui ont été précédemment aspirés dans le carter sont refoulés par la tuyauterie E, ces gaz frais pénètrent dans la chambre de compression A par la soupape F et chassent devant eux les gaz brûlés qui s'échappent dans l'atmosphère par la lumière D. Lorsque le piston

remonte, il bouche les lumières D et comprime le mélange frais dans la partie A; en même temps, il aspire par la soupape G une

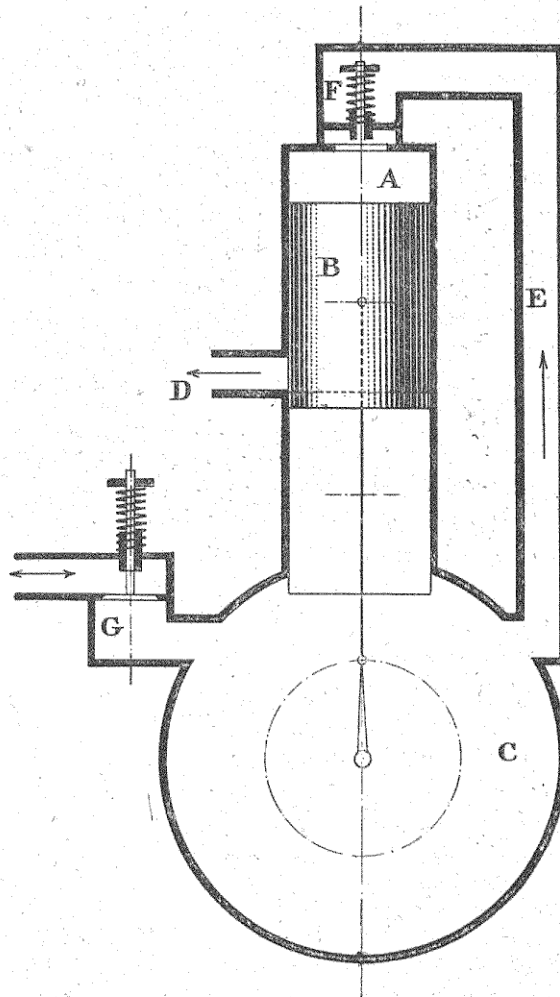


Fig. 68.

nouvelle quantité de mélange gazeux frais qui se répand dans le carter.

Lorsque le piston est parvenu en haut de sa course, l'étincelle éclate et les mêmes phénomènes se reproduisent comme nous venons de l'indiquer.

165. Moteur Côte. — Il se compose d'un système de deux cylindres E (fig. 69 et 70) possédant chacun deux diamètres. L'explosion se produit dans le cylindre supérieur A qui a le plus petit diamètre et est entouré d'une circulation d'eau (a). Le cylindre inférieur B à simple paroi sert à l'aspiration et au refoulement du mélange.

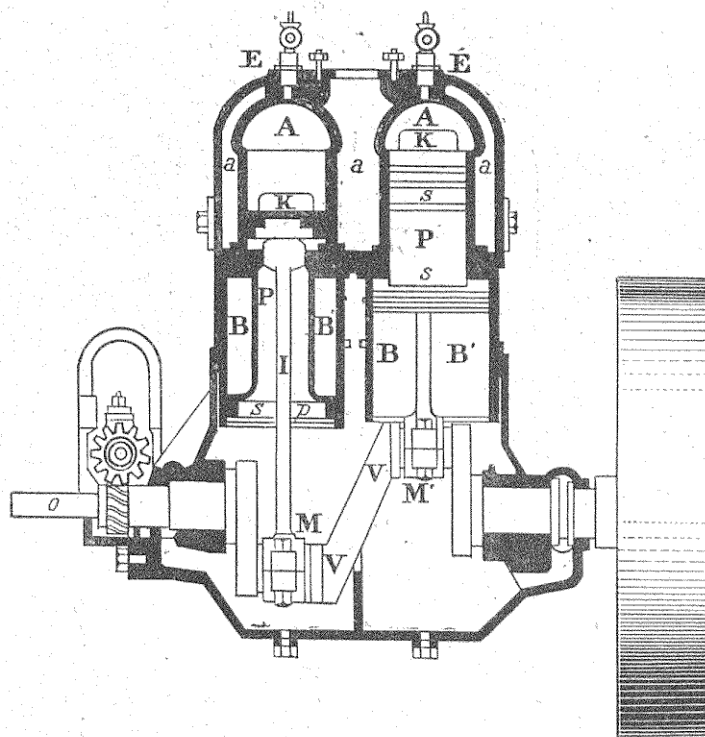


Fig. 69.

Les pistons sont reliés par des manivelles M et M' calées à 180° au vilebrequin V.

Le mélange frais est aspiré par une canalisation C (fig. 69 et 70) munie d'un clapet de retenue dans la chambre annulaire inférieure d'un des cylindres et refoulé dans la chambre supérieure du cylindre voisin au moment où son piston atteignant sa position inférieure, découvre l'orifice d'admission.

Ce courant gazeux venant heurter un butoir déviateur K, est

rejeté vers le fond du cylindre et chasse devant lui les gaz brûlés qui se sont complètement détendus par l'orifice d'échappement R dont l'ouverture a devancé celle de l'orifice d'admission.

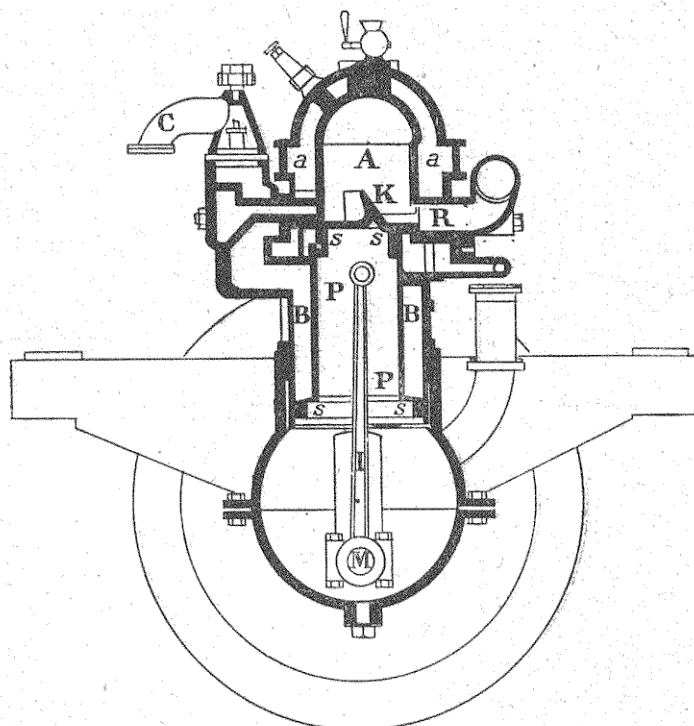
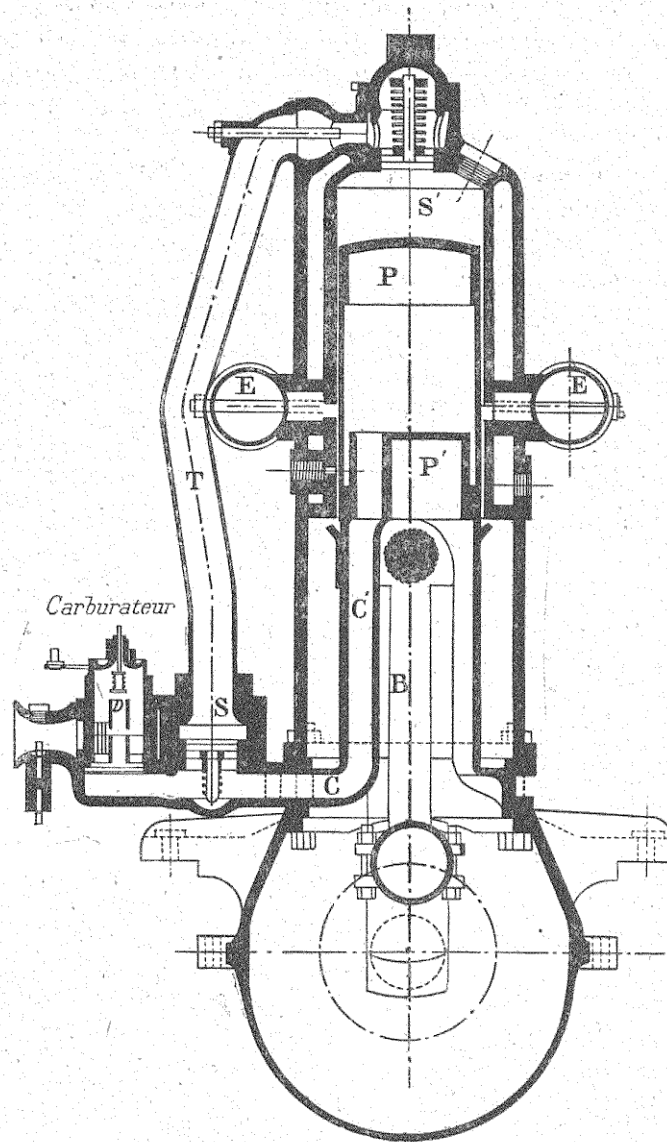


Fig. 70.

Le piston, reprenant sa course ascendante, comprime devant lui le mélange qui s'enflamme lorsque le piston est arrivé au point mort.

Les cylindres sont construits en deux pièces, laissant entre elles un logement circulaire dans lequel viennent se placer deux segments qui enserrant le piston sans participer à sa course et isolent la chambre annulaire de l'orifice d'échappement.

166. Moteurs à deux temps : René Legros. — Il comprend deux pistons; l'un est fixe P' (fig. 71) et occupe l'intérieur du second P qui est mobile.



Le déplacement relatif des deux pistons P et P' produit l'aspiration du mélange dans l'intervalle compris entre ces deux pistons.

Le mélange est ensuite refoulé dans le cylindre moteur au-dessus du piston P. Dans le support fixe constitué par le piston P' est réservée une ouverture longitudinale pour le passage et le déplacement de l'axe de la bielle transmettant le mouvement à l'arbre-manivelle.

On voit immédiatement le fonctionnement du moteur sur la figure schématique 71.

Le piston mobile P, relié à la bielle B, aspire (en montant) le mélange tonnant venant du carburateur par la soupape D. Ce mélange tonnant passe dans le canal CC' venu de fonte avec le support formant le piston fixe P'; il occupe alors l'espace laissé libre entre les deux pistons P et P'.

A la descente du piston mobile P, le mélange se trouve refoulé dans le même canal CC', soulève la soupape S' placée à la partie supérieure du cylindre moteur et entre dans ce cylindre au-dessus du piston P. Le mélange frais aide à la chasse des gaz brûlés qui s'échappent par les orifices d'échappement E.

Dans les derniers modèles, les soupapes sont remplacées par un distributeur rotatif analogue à celui du moteur Darracq-Henriod.

CHAPITRE VII

CARBURATION

1. CARBURANTS EMPLOYÉS DANS LE MOTEUR D'AUTOMOBILE. — Essence. — Alcool. — Alcool carburé. — Benzol.
2. CARBURATEURS. — Théorie. — Carburateurs commandés. — Carburateurs automatiques. — Réglage par action sur l'air, l'essence, etc.
3. ÉTUDE DES DIVERS TYPES DE CARBURATEURS. — Carburateurs à réglage par entrée d'air additionnel, par freinage de l'essence. — Carburateurs à plusieurs gicleurs.
4. RÉSERVOIRS. — Réservoirs en charge, sous pression. — Compresseurs.

1. — CARBURANTS EMPLOYÉS DANS LE MOTEUR D'AUTOMOBILE

167. **Essence.** — On ne peut employer dans les moteurs d'automobile que des combustibles facilement volatils, soit liquides (essence, benzol, etc.), soit solides (naphtaline).

Le principal de ces combustibles ou carburants est l'essence.

L'essence n'est pas un corps chimiquement défini. On l'obtient par la distillation des pétroles.

Elle est constituée par les parties qui passent à la distillation entre 70° et 125°.

Sa densité à la température ordinaire varie entre 0,680 et 0,720 et lorsqu'elle brûle complètement, elle dégage environ 11 000 calories au kilogramme.

Au point de vue chimique, l'essence est formée par un mélange de carbures saturés C^nH^{2n+2} où n varie de 6 à 9.

Le produit dominant est l'heptane, C^7H^{16} , qui est formé en poids de

$$\begin{array}{l} 7 \times 12 = 84 \text{ g. de carbone} \\ \text{pour } 16 \times 1 = 16 \text{ g. d'hydrogène.} \end{array}$$

468. Alcool. — L'élévation du prix de l'essence a conduit à rechercher des carburants moins coûteux.

On a songé tout d'abord à l'alcool, produit national.

Mais l'alcool, tel qu'il est produit à la distillation est propre à la consommation de bouche et soumis comme tel à des droits qui rendent son emploi très onéreux. Pour être exonéré, l'alcool doit être mélangé à des produits (dénaturants) qui le rendent imbuvable.

On dénature l'alcool par un mélange de méthylène et de benzine ou d'acétone.

Malheureusement, ce dénaturant donne souvent naissance à des produits de décomposition qui attaquent le métal. D'ailleurs, lorsque la carburation n'est pas bien étudiée, la combustion de l'alcool, même pur, donne naissance à des aldéhydes et des acides qui attaquent également les parois métalliques.

De plus, l'alcool est moins volatil que l'essence, sa densité est de 0,840. Il nécessite donc un réchauffage énergique. Il donne des mélanges moins homogènes.

Enfin, un kilogramme d'alcool ne dégage en brûlant complètement que 5 900 calories.

Par contre, l'alcool permet d'obtenir des mélanges qui peuvent être beaucoup plus comprimés que le mélange d'air et d'essence sans crainte d'auto-allumages.

Il a donc un meilleur rendement de ce chef et serait en somme un bon carburant si son prix n'était pas si élevé qu'il l'est actuellement.

469. Alcool carburé. — C'est un produit obtenu en mélangeant l'alcool avec un carbure d'hydrogène (benzine, naphtaline, etc.).

Il coûte moins cher que l'alcool pur et dégage en brûlant plus de chaleur que l'alcool simplement dénaturé.

Un mélange en parties égales d'alcool et de benzine a pour densité 0,850 et dégage 7 880 calories au kilogramme.

470. Benzol. — Le benzol C^6H^6 , s'obtient dans la distillation de la houille. Son prix moins élevé (surtout dans les villes où il n'est pas frappé de droit d'octroi) a fait adopter le benzol comme carburant, bien qu'il dégage au kilogramme un peu moins de calories (10 000) que l'essence.

Quoique sa densité (0,885) soit supérieure à celle de l'essence, il se volatilise presque aussi rapidement.

De plus, si l'on fait le calcul des calories dégagées par litre, on trouve 7 500 pour l'essence à 0,680 et 8 000 pour le benzol. Ce dernier est donc plus avantageux. Il a malheureusement le désagrément d'encrasser les moteurs quand il n'est pas rectifié d'une manière absolue.

Remarquons que pour un même volume de carburant il faut plus d'air pour brûler complètement un litre de benzol qu'un litre d'essence.

171. Naphtaline. — On a fait, ces temps derniers, quelques essais de moteurs marchant à la naphtaline.

On sait que ce carbure d'hydrogène $C^{10}H^8$ se présente à la température ordinaire sous forme solide.

Il dégage en brûlant 9 600 calories au kilogramme.

Pour l'employer, on le fait fondre dans un récipient chauffé par une dérivation des gaz d'échappement.

Il a le grave inconvénient de produire des condensations solides dans les tuyaux qui peuvent se trouver ainsi bouchées; de plus il nécessite un dispositif spécial pour le fondre au départ.

172. Carburateurs. — Le mélange d'air et de carburant est préparé dans un appareil appelé « carburateur ».

L'essence étant le principal des carburants, nous étudierons spécialement le carburateur à essence.

Du reste, il est facile d'adapter au benzol ou à l'alcool un carburateur fonctionnant à l'essence.

Il suffit, dans les carburateurs à giclage seuls employés actuellement, de régler le flotteur (voir § 182) pour tenir compte des différences de densité. le réchauffage (voir § 176) pour tenir compte des difficultés plus ou moins grandes de volatilisation et de modifier quand on passe de l'essence au benzol, le gicleur ou l'arrivée d'air pour augmenter la quantité d'air dans le mélange.

2. — CARBURATEURS

173. Composition du mélange. — La composition la meilleure du mélange d'essence et d'air peut être calculée rapidement.

L'air atmosphérique est composé en poids de 23 p. 100 d'oxygène et de 77 p. 100 d'azote et d'autres gaz inertes.

L'essence est un mélange de divers carbures saturés (formule C^nH^{2n+2}) parmi lesquels domine l'heptane C^7H^{16} .

La formule de combustion complète de l'heptane est



les poids atomiques étant :

$$C = 12$$

$$H = 1$$

$$O = 16.$$

On voit que pour brûler une molécule d'heptane, du poids de $12 \times 7 + 16 = 100$ g., il faut un poids d'oxygène de

$$16 \times 22 = 352 \text{ g.}$$

Pour 1 kg. d'heptane, il faudra donc 3,520 kg. d'oxygène, c'est-à-dire 15,300 kg. d'air.

La densité de l'air étant de 1,293, ces 15,300 kg. occupent un volume de 11,8 m³.

Pratiquement, la quantité d'air doit être un peu plus considérable. Le volume d'air nécessaire à la combustion complète de l'essence (qui, comme nous l'avons dit, contient non seulement de l'heptane, mais encore d'autres carbures), est de 15 à 16 l., soit 20 g. par gramme d'essence.

Le litre d'essence pesant environ 700 g., le volume d'air nécessaire pour brûler un litre d'essence sera de 10,5 m³ à 11 m³.

174. Qualités d'un carburateur. — La première qualité d'un carburateur sera donc de fournir un mélange ayant les proportions ci-dessus, quelles que soient les conditions dans lesquelles se fait l'aspiration du moteur, c'est-à-dire quelle que soit l'allure à laquelle tourne celui-ci.

D'autre part, un mélange de combustible liquide et d'air ne détone pas : il brûle. Pour qu'il y ait véritablement explosion, il est nécessaire que le liquide soit extrêmement divisé et qu'il se rapproche le plus possible de l'état de vapeur.

Le mélange ci-dessus doit être réalisé de telle manière qu'il soit absolument homogène.

Ces conditions doivent être remplies de manière aussi exacte que possible.

175. Inconvénients d'un excès d'essence. — Si le mélange n'était pas réalisé dans les proportions convenables, s'il y avait, par exemple, excès d'essence par rapport à l'air, une certaine quantité d'essence ne serait pas brûlée dans le moteur, mais au contraire à la sortie, c'est-à-dire dans la conduite d'échappement. On pourrait avoir ainsi des explosions dans l'échappement et le moteur aurait de toute façon une consommation exagérée.

D'autre part, une certaine quantité d'essence brûlerait incomplètement en formant des dépôts de charbon qui pourraient encrasser le moteur⁽¹⁾.

176. Importance du réchauffage du carburateur. — L'essence se volatilise à la température ordinaire, mais comme toute transformation d'un liquide en gaz absorbe de la chaleur, la température du mélange formé baisse d'une quantité qu'il est facile de calculer.

La formation de 1 kg. de vapeur d'essence absorbe, en effet, 120 calories environ.

D'autre part la chaleur spécifique du mélange de 1 kg. d'essence et de 20 kg. d'air (proportion que l'on doit s'efforcer de réaliser) est de 5,6.

La vaporisation abaisse donc la température du mélange de $\frac{120}{5,6} = 21^\circ$ environ.

D'un autre côté, on a reconnu que la température la plus favorable à la vaporisation rapide de l'essence était d'environ 45°.

On voit donc que dans des conditions normales de température, il sera nécessaire de réchauffer le carburateur si l'on veut que la volatilisation de l'essence se fasse dans de bonnes conditions.

Ce réchauffage est produit soit par aspiration d'air chaud, soit par une circulation d'eau ou des gaz d'échappement.

On réchauffe quelquefois aussi le mélange avant son arrivée aux cylindres pour éviter toute condensation.

(1) Ces dépôts se retrouvent aussi lorsque le carburateur fournit un mélange dans lequel l'essence est insuffisamment pulvérisée. Il se pourrait que, dans ces conditions, les gouttelettes d'essence ne brûlent que par la périphérie, l'intérieur subissant une décomposition libérant l'hydrogène du carbone (M. Arnoux).

Il ne faudrait cependant pas que la température du mélange fût trop considérable, car le poids de gaz introduit à chaque admission diminue en raison de la dilatation et, par conséquent, la puissance du moteur en subit une légère diminution.

177. Influence de la tuyauterie. — Pour assurer un remplissage aussi parfait que possible du cylindre, il ne faudrait créer aucune résistance sur le passage du courant gazeux.

En pratique, on se préoccupe seulement de maintenir entre certaines limites (40 à 60 m. à la seconde) la vitesse d'écoulement des gaz à travers la tuyauterie.

On cherche toutefois à réaliser le minimum de longueur entre le carburateur et les cylindres, à éviter les coudes brusques qui provoquent des condensations.

Pour les moteurs possédant un assez grand nombre de cylindres, la veine gazeuse appelée par le déplacement du piston tend à changer constamment de direction. De plus, cette veine est à chaque instant brisée par l'action des soupapes. Il s'ensuit que les cylindres ne sont pas toujours alimentés d'une manière uniforme.

Le couple moteur peut ainsi subir des variations qui causent des trépidations, comme nous l'avons vu dans l'équilibrage.

Ces considérations interviennent lors de la recherche de l'ordre dans lequel doivent éclater les explosions.

C'est ainsi que pour les quatre cylindres, on préfère l'ordre 1, 3, 4, 2 à l'ordre 1, 2, 4, 3 et que, dans le moteur à cylindres on a choisi, en général, l'ordre 1, 3, 5, 6, 4, 2 qui est le plus avantageux au point de vue de l'alimentation.

D'ailleurs, quand le nombre des cylindres est grand, on peut installer deux carburateurs au lieu d'un.

178. Excès d'essence au départ. — Au départ, les tuyauteries sont remplies d'air. Il est nécessaire d'avoir un excès d'essence pour faciliter la mise en marche.

Dans certains carburateurs on détermine cet excès d'essence en appuyant à la main sur le pointeau du niveau constant, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une commande qui évite de soulever le capot du moteur (enveloppe de tôle qui le recouvre).

Dans d'autres carburateurs, l'entrée de l'air peut être obstruée

au départ. Il faut alors faire attention de l'ouvrir dès que le moteur tourne.

179. Historique des carburateurs. — Les premiers carburateurs employés étaient du type à léchage ou du type à barbotage.

Les premiers se composaient d'un vase dans lequel l'essence arrivait jusqu'à une certaine hauteur. L'air aspiré par le moteur venait en contact avec la surface de l'essence et se chargeait ainsi de vapeurs.

Dans les carburateurs à barbotage, l'air aspiré arrivait au carburateur par un tuyau qui plongeait dans l'essence. Il s'échappait en traversant une couche de ce liquide. L'épaisseur de cette couche était maintenue constante par un flotteur qui supportait le tuyau d'arrivée d'air.

Ces carburateurs sont totalement abandonnés aujourd'hui. Ils sont encombrants et ils ne permettent pas de maintenir constante la composition du mélange gazeux. Le rendement en est très affecté par les trépidations du moteur et les chocs que reçoit le véhicule.

180. Carburateurs à distributions mécaniques. — On s'est servi ensuite des carburateurs à distributions mécaniques.

Ces carburateurs sont caractérisés par l'injection dans l'air aspiré par le moteur d'une quantité constante de liquide.

181. Exemple de carburateur à distribution mécanique. — Le carburateur employé sur les premières voitures Gobron-Brillié fonctionnait de la façon suivante :

Un robinet était placé sous le réservoir d'essence et recevait de celui-ci une certaine quantité d'essence qui se logeait dans des alvéoles placées sur le pourtour de ce robinet.

Le mouvement de ce robinet était continu et commandé par le moteur lui-même. Le mouvement de rotation amenait l'essence contenue dans les alvéoles dans le courant d'air aspiré par le moteur.

Une ouverture placée sur le trajet suivi par le mélange permettait, s'il le fallait, l'introduction d'une certaine quantité d'air destinée à maintenir autant que possible constante les proportions d'air et d'essence.

Ces carburateurs étaient compliqués, puisqu'il fallait les faire commander par le moteur.

Actuellement, on utilise des appareils dits à pulvérisation ou à giclage.

182. Carburateurs à giclage. — Ils se composent essentiellement d'un vase à niveau constant, réuni à un tube appelé gicleur, situé dans le passage de l'air aspiré. Le vase à niveau constant dans lequel arrive l'essence qui vient du réservoir, contient un flotteur dont le rôle est de maintenir l'essence à un niveau un peu moins élevé que celui de l'orifice du gicleur dont il est parlé ci-dessus.

Le flotteur fait manœuvrer un pointeau qui ouvre ou ferme l'arrivée d'essence au niveau constant (fig. 72).

Il est souvent équilibré par des masselottes formant levier et dont le rôle est de transmettre au pointeau les mouvements du flotteur, et d'empêcher celui-ci d'être trop sensible aux trépidations.

L'essence s'écoule de la chambre à niveau constant au gicleur et par suite de l'aspiration, elle jaillit légèrement du gicleur et se vaporise en se mélangeant à l'air. Le mélange est conduit au moteur par une tuyauterie convenable.

Les premiers carburateurs à pulvérisation étaient semblables à celui de la figure 72. Ils comportaient sur le trajet du mélange un champignon P ou des chicanes destinées à brasser ce mélange.

Ces obstacles constituent des résistances à l'aspiration et diminuent par suite la masse des gaz admise dans le moteur. D'autre part, s'ils favorisent la pulvérisation, ils provoquent aussi souvent des condensations nuisibles.

Les carburateurs modernes ne comportent plus, en général, de ces dispositifs complémentaires.

183. Carburateurs modernes à pulvérisation. — Les carburateurs tels que nous venons de les décrire donnent un mélange dont la composition est constante, tant que la vitesse du moteur reste invariable et que les conditions extérieures restent les mêmes.

Par contre, les proportions d'air et d'essence varient avec les conditions atmosphériques, la température, la nature même de l'essence et surtout avec la vitesse du moteur, comme nous le verrons ci-dessous.

184. Influence de la température. — Les proportions d'oxygène contenues dans un certain volume d'air sont variables avec la com-

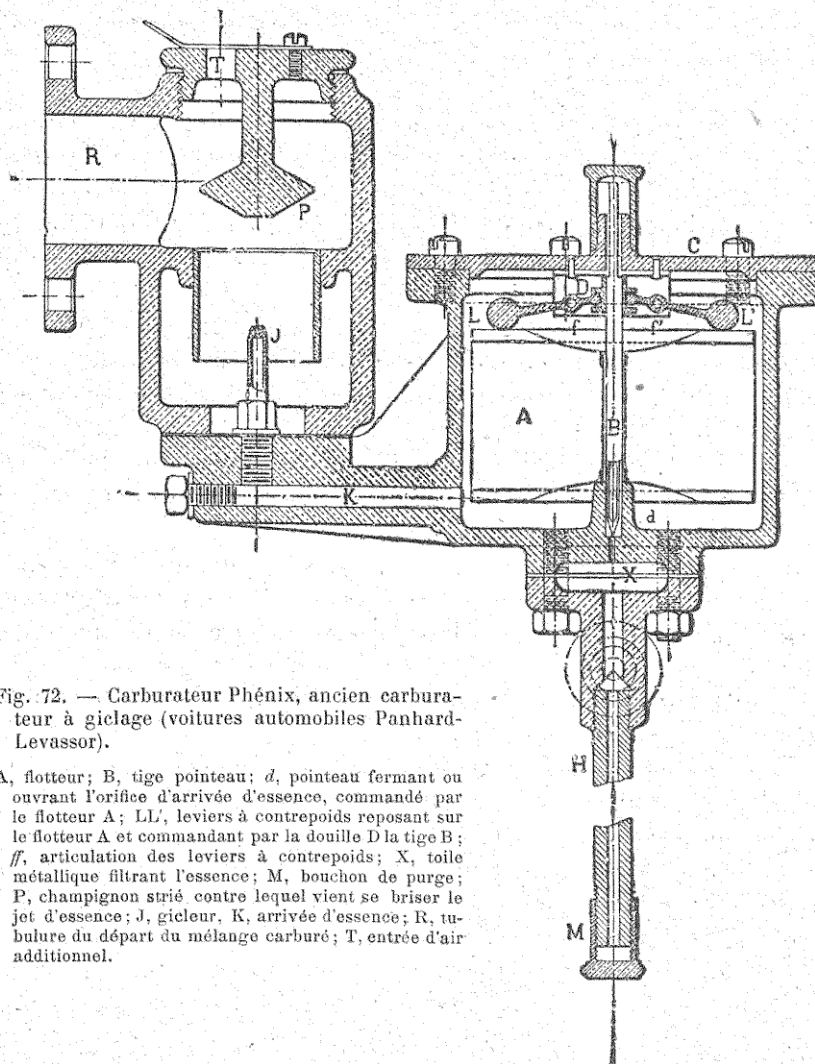


Fig. 72. — Carburateur Phénix, ancien carburateur à giclage (voitures automobiles Panhard-Levassor).

A, flotteur; B, tige pointeau; d, pointeau fermant ou ouvrant l'orifice d'arrivée d'essence, commandé par le flotteur A et commandant par la douille D la tige B; LL', leviers à contrepoids reposant sur le flotteur A et commandant par la douille D la tige B; X, toile métallique filtrant l'essence; M, bouchon de purge; P, champignon strié contre lequel vient se briser le jet d'essence; J, gicleur; K, arrivée d'essence; R, tubulure du départ du mélange carburé; T, entrée d'air additionnel.

position de celui-ci, avec la pression atmosphérique, l'altitude, l'état hygrométrique.

La température influe sur le débit d'essence et M. Sorel a montré

que par un même ajustage, le débit d'essence passe de 120° à 160° lorsque la température passe de 20 à 50°.

Comme en même temps la densité de l'air décroît lorsque la température augmente, le mélange est donc d'autant plus riche que la température est plus élevée.

185. Influence du degré de volatilisation. — Le degré de volatilisation de l'essence influe sur les proportions du mélange. Si l'essence n'est pas homogène et qu'elle contienne par exemple des parties ayant une densité de 680 d'autres une densité de 750, les premières pourront être entièrement volatilisées alors que les autres resteront à l'état de gouttelettes.

186. Influence des changements d'allure. — La principale cause de perturbation dans le mélange provient des changements d'allure du moteur.

En effet, la dépression dans la tuyauterie d'aspiration croît avec la vitesse du piston. Elle est de 30 à 50 cm. d'eau au ralenti et peut atteindre 3 m. à 1 200 tours.

A chaque valeur de la dépression correspond une certaine proportion d'essence et d'air dans le mélange, si bien que la carburation, réglée pour une certaine allure, cessera d'être bonne pour une autre.

On admet généralement que ces variations sont dues à la différence de densité des deux éléments.

L'essence étant plus lourde que l'air à volume égal, a une inertie plus considérable et par suite elle n'obéit pas aussi bien que lui aux appels du piston.

Si les aspirations sont très rapprochées, l'essence jaillit non pas par saccades, mais d'une manière continue, alors que l'air n'entre que lorsqu'il y est appelé. Comme, de plus, l'air est détendu, la densité diminue encore de ce fait; il en résulte donc que, pour ces deux motifs, le mélange contient de l'essence en excès et d'autant plus que la vitesse du moteur est plus grande.

Au contraire, lorsque la vitesse passe au-dessous de la vitesse de régime, le mélange contient de moins en moins d'essence.

L'inertie de l'essence nuit ainsi beaucoup à la souplesse du moteur. A tout ralentissement correspond un excès d'essence; par

contre, lorsque le conducteur, après une période de ralentissement veut accélérer l'allure de son moteur, les premières portions du mélange qui arrivent à celui-ci contiennent un excès d'air par suite du retard que met l'essence à jaillir.

Or, une carburation irrégulière amène une consommation exagérée d'essence et risque d'encrasser le moteur.

On a donc étudié des dispositifs permettant de rendre la composition du mélange indépendante de la vitesse du moteur.

187. Solutions employées pour le réglage du carburateur. — Parmi les solutions employées nous citerons :

1° Action sur l'entrée d'air. — C'est la première solution qui vient à l'esprit.

On règle l'entrée de l'air pour les allures lentes et lorsque le moteur augmente sa vitesse, on ouvre un passage à une certaine quantité d'air additionnel.

Notons qu'en agissant ainsi, on diminue en même temps la dépression sur la sortie d'essence.

Ce dispositif peut être :

Soit commandé directement par le conducteur du véhicule.

Soit automatique.

Dans ce dernier cas, la dépression agit sur un piston qui, en se déplaçant, débouche les ouvertures d'entrée d'air additionnel.

Le piston est rappelé par un ressort d'une tension déterminée, et, pour éviter les vibrations continuelles de ce piston, son mouvement est freiné.

L'expérience montre que la quantité d'air additionnel qu'il faut ajouter lorsque l'on passe d'une vitesse à une autre, doit décroître lorsque cette vitesse devient de plus en plus grande. La forme des orifices d'entrée d'air additionnel est calculée en conséquence.

2° Action sur l'entrée d'essence. — Le gicleur est alors constitué de telle manière qu'il présente à la sortie de l'essence une résistance qui croît avec la force qui détermine le jaillissement et par conséquent avec la vitesse du moteur.

3° Action sur l'entrée d'air combinée avec une action sur les dépressions qui déterminent l'arrivée d'air et le jaillissement d'essence. — En modifiant par le jeu d'une clef la forme de la chambre de pul-

vérisation, on peut agir à la fois sur la section d'entrée d'air et sur les dépressions (Claudel).

4° *Action sur tous les éléments ci-dessus.* — Dans certains carburateurs, on agit à la fois sur la grandeur des orifices d'arrivée d'air et d'essence et sur les dépressions. Dans cette catégorie rentrent les carburateurs à plusieurs gicleurs et les carburateurs doubles.

Carburateurs modernes. — Il est difficile de réaliser un dispositif assez sensible pour suivre toutes les variations d'allure du moteur, ce qui serait indispensable pour sauvegarder à la fois l'économie et la souplesse. On a donc été conduit à rechercher un carburateur qui permette l'économie aux seules allures normales et la souplesse dans tous les cas. Un carburateur moderne doit permettre :

le départ facile avec admission de mélange réduite ⁽¹⁾ et par conséquent faible dépression ;

la marche régulière au ralenti ;

la marche normale économique, le moteur donnant à chaque instant le maximum de puissance correspondant à sa vitesse ;

des reprises faciles, c'est-à-dire le passage rapide d'une vitesse faible à une vitesse plus considérable.

188. *Construction d'un carburateur.* — a) *Parties essentielles.* — Le carburateur moderne comprend :

Une chambre à niveau constant ;

Une arrivée d'air $\left\{ \begin{array}{l} \text{soit perpendiculaire} \\ \text{soit parallèle} \end{array} \right\}$ au gicleur ;

Un ou plusieurs gicleurs ;

Un ou plusieurs dispositifs de réglage ;

Une tuyauterie de départ qui porte en général un organe réglant la quantité de gaz admise aux cylindres.

b) *Carburateur commandé.* — On réserve le nom de carburateur commandé à ceux dont le dispositif de réglage est manœuvré spécialement par le conducteur, qui lui donne la position qui correspond à l'allure du moteur.

On ne rencontre plus guère le carburateur ainsi commandé que sur les motocyclettes où la commande agit sur une arrivée d'air additionnel.

(1) Pour éviter que le moteur s'emballe au départ.

Le carburateur commandé demandait, pour être bien réglé, une attention constante et un certain doigté. Il était une source de préoccupations constantes pour le conducteur de la voiture; c'est pourquoi les constructeurs se sont préoccupés d'établir des carburateurs dans lesquels le réglage se fait automatiquement.

c) *Carburateurs automatiques*. — On donne le nom d'automatiques aux carburateurs dans lesquels le conducteur n'a pas à s'occuper du réglage, soit que celui-ci soit déterminé par la dépression même créée par le moteur (Panhard, Renault, etc.), soit qu'il soit commandé par l'organe de régulation de la vitesse (Claudel).

L'automaticité ne peut d'ailleurs être telle que la constance du mélange soit absolument assurée; c'est une solution moyenne. Mais les résultats que donnent les carburateurs automatiques sont cependant assez intéressants pour que toutes les voitures automobiles en soient actuellement munies.

C'est que si le carburateur automatique n'est pas indispensable au moteur que l'on utilise toujours dans des conditions analogues tels que les moteurs de courses par exemple, qui sont réglés une fois pour toutes pour la marche en puissance maximum, ou pour les moteurs d'aviation qui doivent continuellement tourner à des vitesses angulaires constantes, il est au contraire fort avantageux pour le conducteur d'une voiture, d'être débarrassé du soin de régler constamment son carburateur sous peine de voir sa consommation d'essence augmenter, la puissance de son moteur diminuer et ce moteur lui-même s'encrasser rapidement.

3. — ÉTUDE DES DIVERS TYPES DE CARBURATEURS AUTOMATIQUES

a) 189. Carburateurs à réglage par entrée d'air additionnelle seule. — *Carburateur Krebs*. — La figure 73 représente le vase à niveau constant du premier carburateur Krebs. On y voit le flotteur A, actionnant une tige B de manière à régler l'arrivée d'essence. Celle-ci arrive par le tuyau H et traverse la toile métallique T, destinée à arrêter les particules solides qui pourraient encrasser le carburateur. Son arrivée dans la chambre à niveau constant peut être arrêtée par la bille qui, poussée par le ressort R s'applique exactement sur l'orifice d'arrivée.

On conçoit que lorsque le niveau de l'essence monte dans le vase à niveau constant, la tige B s'écarte de la bille et par conséquent l'arrivée d'essence est arrêtée.

Par contre, si le niveau baisse, le flotteur descend, la bille est repoussée et l'essence arrive.

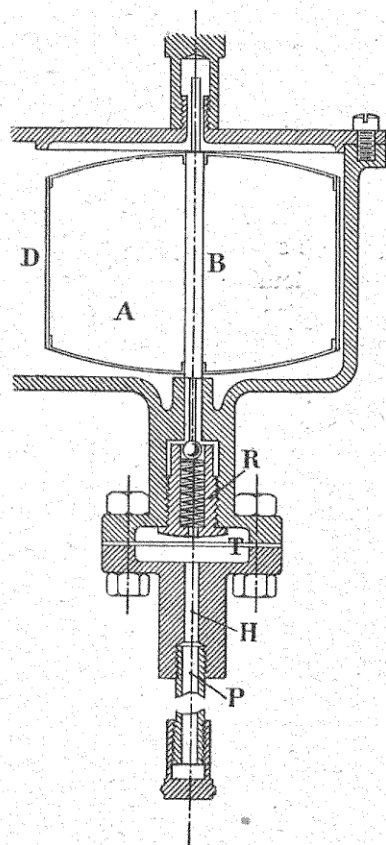


Fig. 73.

La figure 74 représente l'ensemble du gicleur, du doseur automatique d'air additionnel et du dispositif de régulation. Nous nous occuperons de ce dernier dans le chapitre relatif à la régulation des moteurs.

On voit que la tubulure A d'arrivée d'air a une grandeur absolument fixe, cette grandeur correspond à la quantité d'air nécessaire à une bonne carburation lorsque le moteur tourne à vide à sa plus petite vitesse; de même le gicleur D est calibré une fois pour toutes et ne doit en aucun cas être modifié.

L'essence arrivant de la chambre à niveau constant, passe par la conduite E dans le gicleur où elle se mélange à l'air arrivant par la tubulure A. Le mélange s'écoule ensuite par le tuyau C.

Le doseur automatique d'air additionnel se compose d'un corps cylindrique vissé sur le

tuyau C et percé d'ouvertures M de forme particulière.

Ces ouvertures peuvent être plus ou moins obturées par un tiroir L dont la tige fait corps avec un piston sans frottement logé dans le cylindre O; le joint du piston avec le cylindre est obtenu au moyen d'une membrane souple et imperméable Q, sertie sur le piston et sur le cylindre. Cette membrane se déroule ou s'enroule sans frottement, suivant le mouvement du piston P.

Un ressort maintient le piston P en position normale en haut de sa course; un trou S percé dans la paroi supérieure du cylindre O, sert à l'aspiration ou à l'écoulement de l'air extérieur, suivant les mouvements du piston P, ce qui empêche toute vibration de celui-ci.

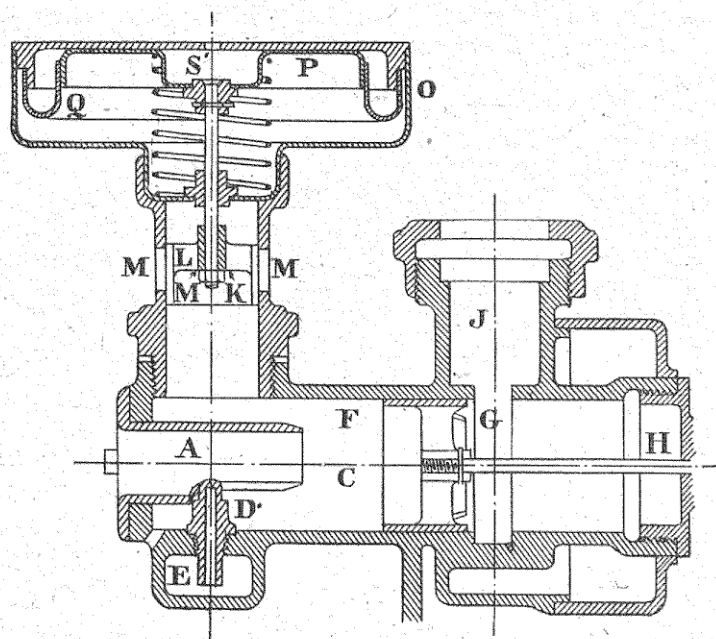


Fig. 74.

Lorsque le moteur tourne à petite vitesse, le piston P est en haut de sa course; lorsque la vitesse augmente, la dépression augmente, le piston P descend en faisant mouvoir le tiroir L qui débouche les ouvertures M.

Plus la dépression sera considérable, plus le piston descendra et, par conséquent, plus grande sera la quantité d'air additionnel arrivant par les ouvertures M.

La forme des ouvertures M a été calculée de manière que la quantité d'air qui passe par ces ouvertures soit exactement celle qui est nécessaire pour conserver, à chacune des allures du moteur, la composition constante du mélange. Ce carburateur permet donc le fonctionnement normal du moteur à toutes les vitesses.

Dans un autre genre du même carburateur, les ouvertures *M* ont un profil quelconque et l'entrée de l'air additionnel est réglée par la distance qui existe entre les bords *b* de la paroi de la chambre de réglage et ceux du clapet *L* solidaire du piston *P* (fig. 75).

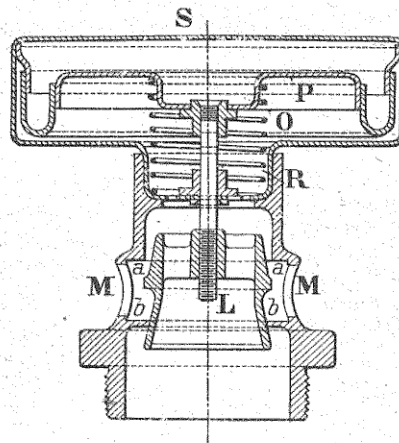


Fig. 75.

Le profil du clapet *L* est alors calculé de telle manière que le mélange ait une composition constante.

b) Carburateurs Krebs dernier modèle. — Les premiers carburateurs Krebs étaient assez encombrants. On a remédié à ce défaut.

Dans les derniers carburateurs de ce type mis en service (fig. 76), la dépression provoquée par le moteur se fait sentir par l'intermédiaire d'un trou *O* à l'intérieur d'une enceinte formée par le couvercle *I* de la lanterne, le piston *F* et la membrane du caoutchouc *f*.

Le piston *F* sur lequel agit la pression de l'air arrivant par les orifices *H* se trouve ainsi soulevé en démasquant des orifices par lesquels l'air supplémentaire afflue.

Ces carburateurs sont munis d'une prise d'air chaud qui se fait autour du tuyau d'échappement.

On peut donc faire marcher à volonté avec de l'air chaud (départ ou marche par temps froid) ou avec de l'air froid (marche normale).

La dépression produite par le moteur est également utilisée pour le réglage automatique du débit d'huile nécessaire au moteur, comme nous le verrons plus loin.

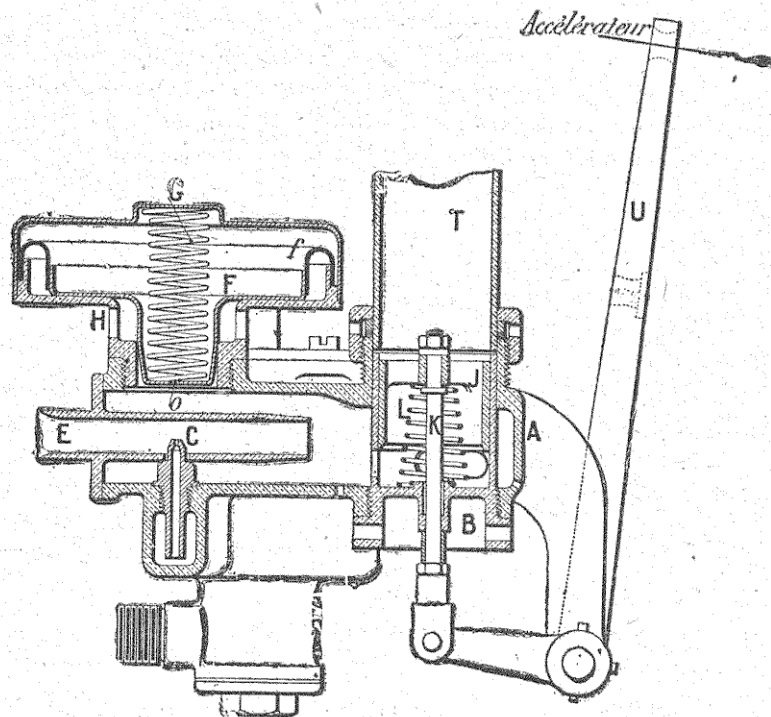


Fig. 76.

A, corps du carburateur; B, bouchon-guide du tiroir régulateur; C, gicleur; E, entrée d'air constante; F, piston commandant l'entrée d'air additionnel; f, membrane en caoutchouc; G, ressort maintenant le piston dans la position de fermeture; H, orifice d'admission d'air additionnel; I, couvercle; J, tiroir régulateur réglant l'admission en T; K, tige du tiroir; L, ressort de rappel du tiroir; T, tuyauterie d'aspiration; U, levier de commande du tiroir régulateur.

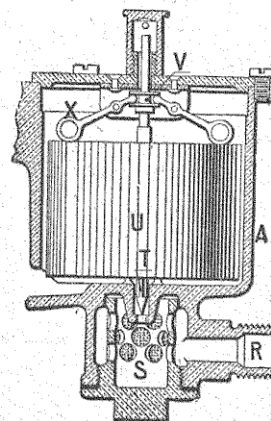


Fig. 76 bis.

A, corps du carburateur; R, arrivée d'essence; S, bouchon de vidange avec filtre pour l'essence; T, tige-pointeau; U, flotteur; V, manchon d'entraînement de la tige-pointeau; X, leviers à contrepoids.

c) *Carburateur Renault.* — *Arrivée de l'essence.* — L'essence arrive par la tubulure 51 (fig. 77), dans une chambre conique 52, traverse le filtre 53 et pénètre dans la cuve 54. Son niveau dans cette cuve est rendu constant par le flotteur 55 et le pointeau 56 dont les mouvements sont commandés par les leviers 57.

De la cuve, l'essence arrive au gicleur 58 placé au centre d'un étrangleur 59.

L'air traversant cet étrangleur est pris dans une chambre 60 pouvant être mise en communication soit avec l'air froid extérieur, soit avec une tuyauterie dans laquelle passe de l'air réchauffé par le collecteur d'échappement.

Air additionnel ou secondaire. — La proportion d'air et d'essence du mélange carburé est rendue constante par le réglage automatique d'une arrivée d'air additionnel.

Le réglage de cet air additionnel est effectué par la soupape 61 qui, sous l'influence de la dépression produite par l'aspiration du moteur, se soulève en laissant une section de passage d'autant plus grande que la dépression exercée est plus considérable.

Pour que la soupape 61 ne puisse se soulever que très progressivement et soit toujours dans une position d'équilibre bien déterminée, ses mouvements sont amortis par un frein à liquide constitué par un piston 62 relié par la tige 63 à la soupape 61 et se déplaçant dans un cylindre 64 alimenté d'essence par le canal 65. Le rappel de la soupape peut, au contraire, se faire très rapidement, grâce à l'adjonction d'une rondelle 66 formant clapet, qui, lorsque le piston redescend, se soulève et laisse à l'essence une section de passage beaucoup plus grande qu'à la remontée.

Réglage de l'admission de gaz. — Le mélange carburé produit par le carburateur est conduit aux cylindres par une tuyauterie 67 à deux branches. Le réglage de la quantité de gaz admise dans les cylindres est obtenu par un boisseau tournant 68, au moyen duquel on peut découvrir progressivement des ouvertures permettant aux gaz d'arriver aux cylindres.

Les mouvements de ce boisseau sont mis sous la dépendance du conducteur au moyen d'un dispositif de commande que nous décrirons plus loin.

Dispositif de réchauffage. — Pour permettre d'obtenir une carburation régulière par toutes les températures, les carburateurs de

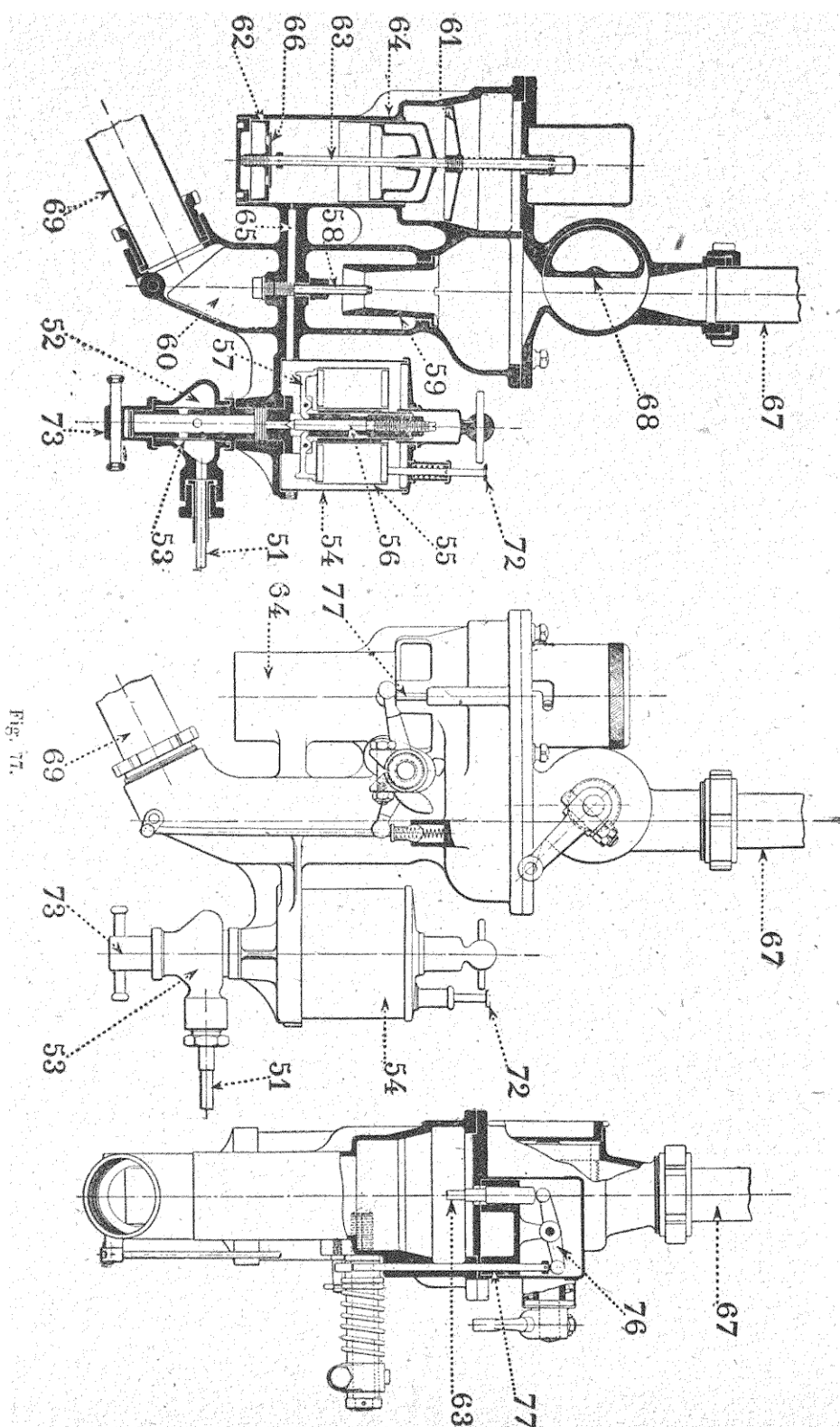


Fig. 77.

certaines châssis Renault (16 chevaux) sont munis d'un dispositif de réchauffage de l'air admis par l'étrangleur.

A cet effet, la chambre dans laquelle est enfermé le gicleur est reliée par une tuyauterie 69 à un manchon fixé à la canalisation d'échappement du moteur, de telle sorte que l'air passant dans cette tuyauterie doit lécher des parois très chaudes et prend ainsi lui-même une température relativement élevée.

Un volet 70, monté sur le carburateur, permet de mettre la chambre 60, dans laquelle passe l'air admis par l'étrangleur, soit en communication directe et exclusive avec la tuyauterie d'air chaud, soit en communication directe et exclusive avec l'extérieur, c'est-à-dire avec l'air froid, soit enfin dans toute position intermédiaire entre ces deux extrêmes.

Ce robinet commandé par un bouton disposé au centre du volant de direction, permet ainsi d'obtenir constamment pour l'air aspiré la température la plus favorable au bon fonctionnement du carburateur.

d) Carburateur Grouvelle et Arquembourg. — Cet appareil comprend, comme tous les autres carburateurs à pulvérisation, une chambre à niveau constant et un gicleur.

L'une des particularités du carburateur Grouvelle et Arquembourg est que l'extrémité du gicleur est située dans une partie rétrécie du tuyau d'arrivée d'air. La vitesse de l'air étant maximum dans cette partie, la pulvérisation de l'essence se fait donc dans de bonnes conditions.

D'ailleurs, pour diminuer le plus possible la résistance à l'écoulement, on donne au tuyau d'arrivée d'air la forme représentée sur la figure 78. Ce carburateur est complété par un doseur d'air automatique. L'orifice E d'arrivée d'air et l'orifice G du gicleur sont calculés de telle manière que, pendant la marche lente, le mélange aspiré est de composition normale. L'air qu'il est nécessaire d'ajouter pour contre-balancer la dépression causée par le moteur lorsque celui-ci tourne plus vite, est admis à l'aide du dispositif suivant : il comprend une collerette B vissée sur le tuyau par lequel débouche le mélange; cette collerette porte un certain nombre de fenêtres *o* percées dans la paroi inférieure de la collerette, chacune de ces fenêtres est fermée par une bille faisant obturation; les fenêtres et les billes sont de grandeur variable et chaque bille

est susceptible de se mouvoir dans un guide cylindrique. Si le moteur tourne lentement, la dépression causée par l'aspiration sera suffisante pour faire jaillir le liquide, mais insuffisante pour soulever les billes si leur poids est convenablement calculé.

La vitesse du moteur augmentant, il arrive un moment où l'une des billes se soulève, puis deux, puis trois.

Lorsque le moteur tourne à grande vitesse, toutes les billes s'agitent et par conséquent l'air additionnel entre par toutes les ouvertures *o*.

L'expérience a prouvé que pour obtenir la continuité dans la rentrée de l'air, il suffisait d'employer 8 à 14 billes et de choisir des orifices dont la section totale soit suffisante pour permettre la rentrée de la quantité d'air correspondant à la plus grande vitesse.

Nota. — Pour éviter tous les inconvénients possibles des dispositifs de réglage automatique (perforation de la membrane du carburateur, frottement anormal d'un tiroir, adhérence d'une bille sur son siège), un certain nombre de constructeurs relient l'orifice d'entrée d'air additionnel à la manette d'admission des gaz. On peut, par expérience, obtenir une concordance rigoureuse entre l'ouverture d'air additionnel et celle du mélange gazeux.

Ce dispositif présente un inconvénient lors de la mise en route ou lorsque le moteur ralentit dans une côte. Il faudrait alors obtenir un mélange riche en essence alors qu'au contraire, en augmentant l'arrivée des gaz, on augmente en même temps la proportion d'air additionnel.

Pour atténuer ce défaut, l'air additionnel est admis dans certains carburateurs, partie par une ouverture commandée mécaniquement, partie par une soupape avec ressort réglable.

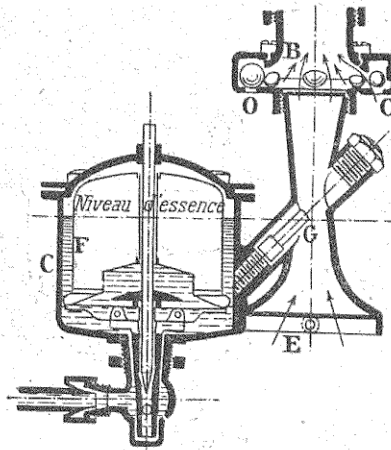


Fig. 78.

191. Réglage par freinage du débit d'essence. — *Ancien carburateur Longuemare* (fig. 79). — Dans ce carburateur, le gicleur est remplacé par un champignon à fines rainures qui offrent au passage de l'essence une résistance qui tend à croître lorsque la vitesse de passage augmente par l'augmentation de la dépression.

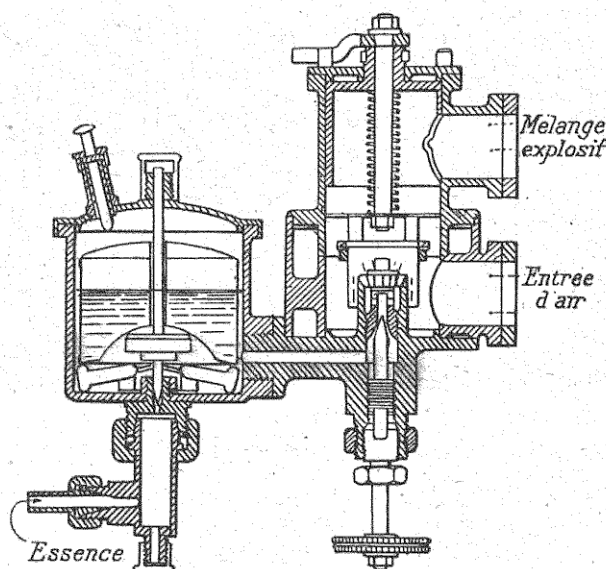


Fig. 79.

192. Réglage par action sur le débit d'essence. — *a) Carburateur à plusieurs gicleurs.* — La nécessité, non pas seulement d'assurer la constance du mélange, mais encore une mise en route facile avec admission des gaz réduite, une marche aisée au ralenti et la franchise des reprises, ont conduit à la régulation du débit d'essence par l'emploi de plusieurs gicleurs qui fonctionnent soit séparément, soit simultanément et dont l'un est souvent réservé pour la marche au ralenti.

b) Carburateur Zénith. — Le principe du Zénith est d'utiliser deux gicleurs.

Le premier est un gicleur ordinaire qui fonctionne avec un vase à niveau constant.

La quantité d'essence que fournit ce gicleur croît avec la vitesse du moteur et le rapport des poids d'essence et d'air contenus dans

le mélange prend les valeurs représentées par la courbe ci-contre (fig. 80).

Ce rapport n'est pas constant.

Pour qu'il le soit, il suffit d'adjoindre au premier gicleur un second dont le débit soit tel que le rapport : $\frac{\text{essence}}{\text{air}}$ du mélange

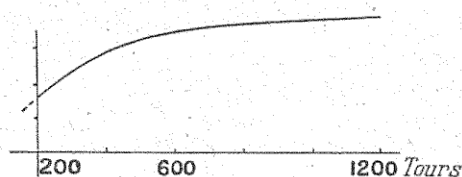


Fig. 80.

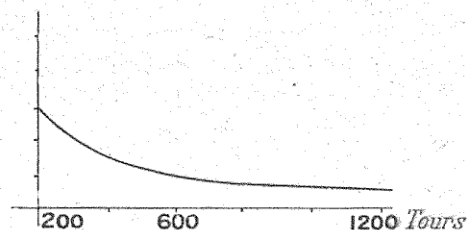


Fig. 81.

qu'il fournit varie à l'inverse du premier, suivant la courbe de la figure 81.

En étudiant le débit de ce deuxième gicleur, on voit (fig. 82) qu'il doit être indépendant de la valeur de la dépression dans le carburateur, c'est-à-dire constant par unité de temps.

Description. — Le schéma, figure 83, indique comment cette condition a pu être réalisée dans le carburateur Zénith.

A un gicleur ordinaire G puisant directement son essence dans le vase F, est adjoint le jet compensateur H. Ce jet prend lui-même son origine au fond d'une pipe ouverte à l'air libre J. L'arrivée d'essence au fond de cette pipe est faite par l'orifice calibré I, orifice dont le débit est seulement fonction de la hauteur de la colonne d'essence en charge sur lui, hauteur elle-même constante en vertu même du principe du vase F à niveau constant.

La section de J étant considérablement plus grande que celle de H,

il s'ensuit que les variations de pression dans le carburateur sont

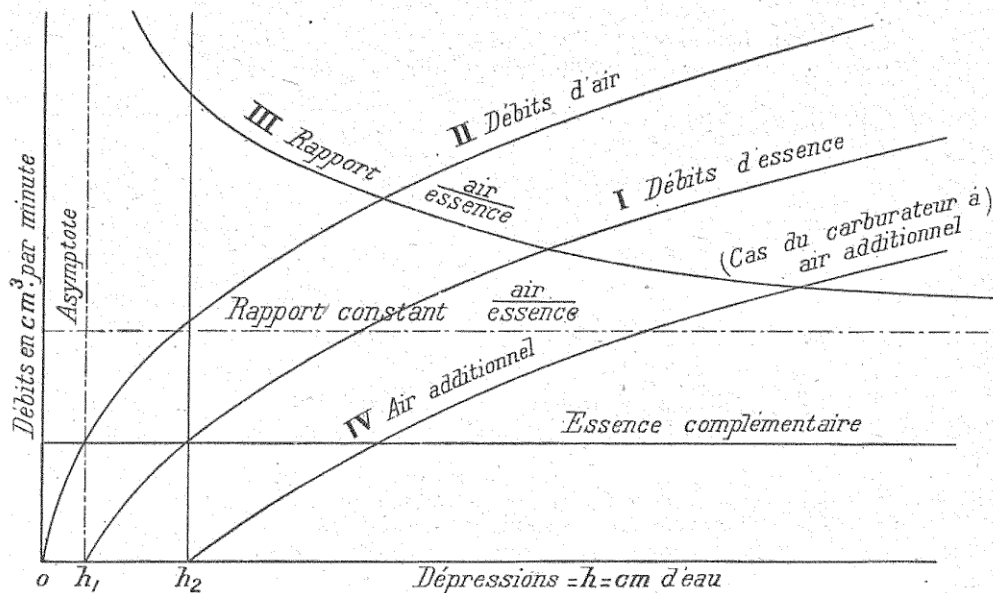


Fig. 82.

sans influence sur le débit de l'orifice calibré I, et la quantité d'essence que le gicleur H fournit par unité de temps reste donc constante alors même que la vitesse augmente, de telle sorte que le débit total des deux gicleurs fournit un mélange où le rapport $\frac{\text{essence}}{\text{air}}$ reste sensiblement constant.

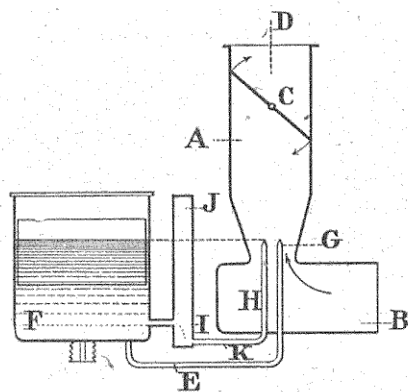


Fig. 83.

En réalité, les deux jets, principal et compensateur, sont disposés concentriquement l'un à l'autre. Tous deux débouchent en S, le jet ordinaire au centre, le compensateur sous la forme annulaire. Ce dernier communique par F avec la pipe ouverte à l'atmosphère J, pipe alimentée par l'orifice I.

Le carburateur Zénith comprend, outre le jet principal et le compensateur un tube O qui prend son origine à une certaine distance du fond de la pipe J et qui aboutit en U contre la tranche du papillon lorsque celui-ci est à son point de fermeture.

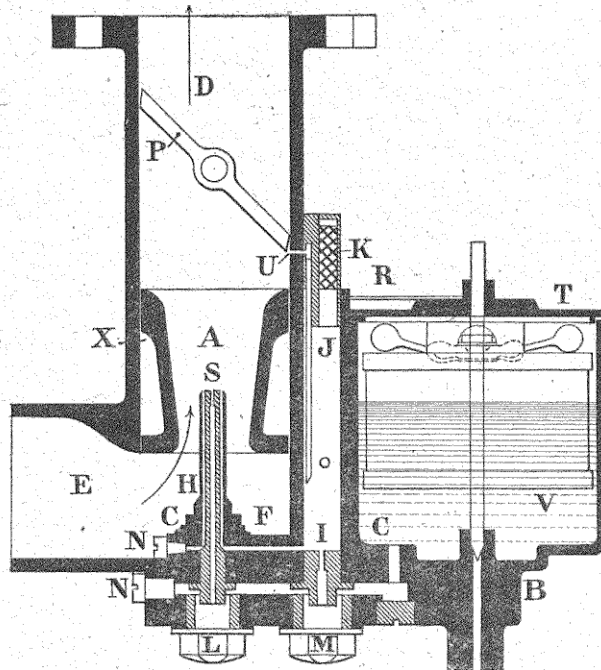


Fig. 84.

En marche normale, l'action de ce petit tube est nulle, puisqu'il ne peut puiser dans la pipe qu'un peu d'air, mais il fonctionne dans les deux cas suivants :

1° *A l'arrêt*, la pipe J se remplit d'essence ; par ce fait le départ du moteur est facilité ; en effet, l'aspiration en U vers la tranche du papillon étant très énergique, la petite réserve d'essence contenue dans la pipe est enlevée rapidement et le moteur part au premier tour sans qu'aucune manœuvre préalable comme celle de noyer le flotteur, etc..., soit nécessaire.

2° *Au ralenti*, car alors le moteur tournant à vide ne demande qu'une faible admission des gaz, il s'ensuit que la dépression autour des jets concentriques est très faible, insuffisante pour enlever

toute l'essence dans la pipe J; le liquide monte donc dans cette pipe jusqu'à ce que, rencontrant l'extrémité du tube O, il soit violemment aspiré et pulvérisé en U pour former le dosage exact convenant à la marche ralentie du moteur à vide.

En résumé, le fonctionnement du carburateur Zénith est assuré comme suit :

Au départ : }
 Au ralenti : } par le tube O et la pipe J;

En marche normale : par le gicleur principal et le second gicleur fonctionnant comme compensateur;

Aux reprises : par le gicleur principal et le deuxième gicleur, lequel débite d'abord l'essence qui s'est accumulée dans la pipe pendant le ralentissement qui a précédé la reprise, et qui fonctionne ensuite en marche normale au moment même où le gicleur principal qui, au début de la reprise ne donnait pas assez d'essence, commence à en donner trop.

193. Action sur l'essence et l'air. — Au type de carburateur à plusieurs gicleurs peut être adjoint une entrée d'air additionnel.

Nous citerons ainsi :

a) Le carburateur *Delaunay-Belleville* à deux gicleurs.

Le petit est plutôt un dispositif à léchage (fig. 85).

b) Le carburateur *Chenard et Walcker*.

Ce carburateur (fig. 86) comporte deux gicleurs dont l'un est exclusivement consacré à la marche au ralenti.

Le gicleur principal G est entouré d'une bague annulaire S dont la partie inférieure forme soupape et ferme l'arrivée d'air. Cette bague porte en son centre une aiguille conique qui obstrue plus ou moins le trou du gicleur. A mesure que cette bague se soulève et qu'elle laisse pénétrer plus d'air, l'aiguille dont le profil est établi *ad hoc* laisse passer la quantité d'essence nécessaire pour obtenir le dosage parfait du mélange.

Ce carburateur porte en outre des ouvertures d'air additionnel A qui permettent de réaliser la marche la plus économique.

La marche au ralenti à vide et la mise en marche sont obtenues par un petit gicleur auxiliaire g monté directement sur la cuve du flotteur et qui débite dans un tube qui communique avec la tuyauterie d'admission.

c) *Carburateur Daimler à sept gicleurs*. — L'un placé au centre sert pour la marche au ralenti, les six autres fonctionnent automatiquement à mesure que l'aspiration du moteur augmente. Le pointeau C règle la marche au ralenti. Les autres gicleurs placés

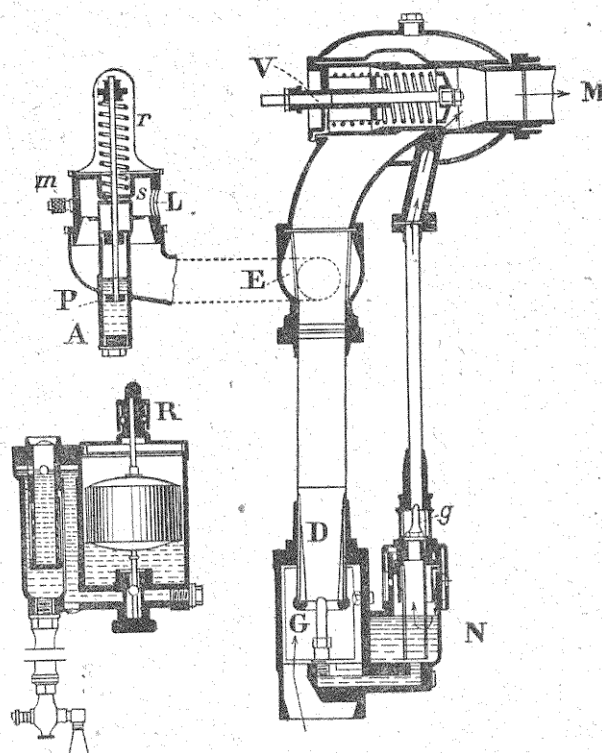


Fig. 85. — Coupe du carburateur Delaunay-Belleville.

N, niveau constant; G, grand gicleur; g, petit gicleur; M, arrivée du mélange aux cylindres; m, bouton moleté de réglage; L, trous d'entrée d'air additionnel; s, soupape avec son ressort r et son frein, constitué par un piston p se déplaçant dans le cylindre A rempli de liquide; V, tige de commande de l'accélération; E, raccord.

en cercle sont alimentés par une chambre D qui communique avec la boîte du flotteur, dont le pointeau K règle l'admission.

Au-dessus de chaque gicleur, une ouverture circulaire F agit comme diffuseur; entre chacun des trous des gicleurs se trouvent d'autres trous analogues G pour l'air supplémentaire.

Les douze ouvertures sont fermées par 12 billes d'acier; onze de ces billes sont maintenues en place par une rondelle à branches II formant contrepoids; au-dessus de celles-ci, se trouve placé une entretoise augmentant la diffusion.

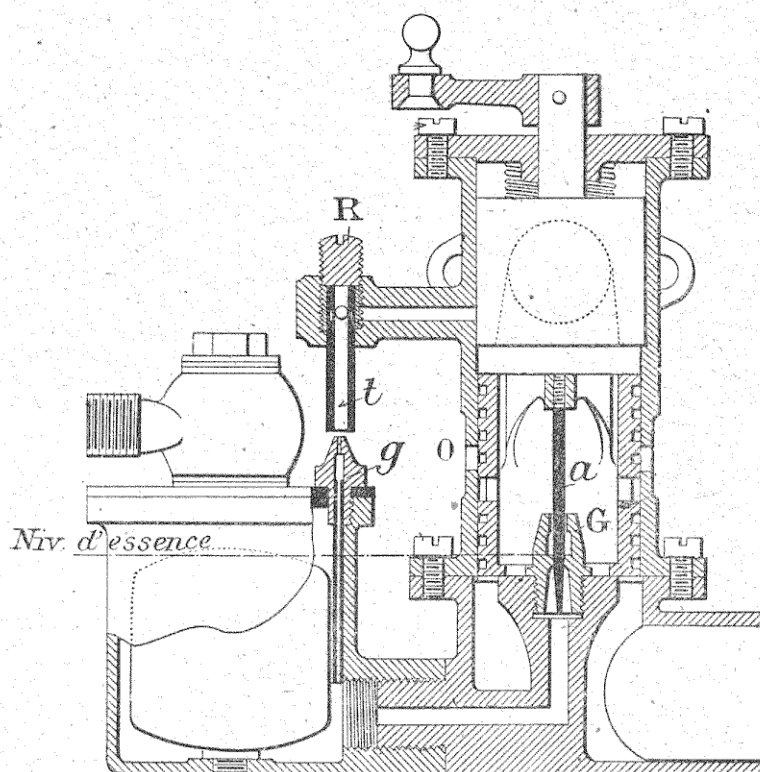


Fig. 86. — Coupe du carburateur.

G, gicleur principal; O, prise d'air additionnel; a, aiguille obturatrice; g, gicleur de ralenti; t, tube où passent les gaz au ralenti; R, vis de réglage.

Au ralenti, l'aspiration est faite au gicleur central, l'air nécessaire passant par le trou central.

Quand l'aspiration augmente, les billes rendues solidaires par la rondelle à griffes, se soulèvent en même temps de leur siège et les six gicleurs annulaires fonctionnent; l'aspiration sur les gicleurs

est d'autant plus grande que les billes se trouvent plus soulevées et par conséquent, la quantité d'air et d'essence est toujours en rapport avec les exigences du moteur. Le mélange admis reste parfaitement homogène sans excès ni manque d'essence, quel que soit le régime de marche.

d) *Carburateur Jarnac*. — Il comprend un gicleur principal avec dosair à billes (fig. 90).

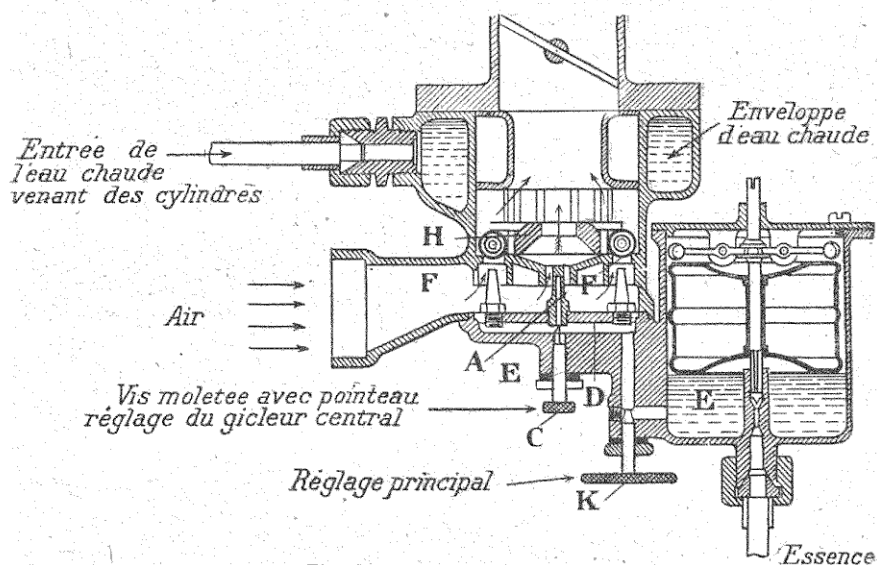


Fig. 87. — Carburateur Daimler.

Le gicleur présente une forme spéciale destinée à permettre un brassage plus énergique du mélange gazeux.

Le gicleur secondaire fonctionne au ralenti lorsque le boisseau 4 est fermé.

La position de ralenti du boisseau n'est pas tout à fait celle qui est représentée par la figure 90 : elle correspond à une fermeture plus complète du boisseau.

On voit qu'alors l'encoche pratiquée dans le boisseau qui communique avec le tuyau 14, est en partie masquée. Le petit carburateur est réglé de façon telle que le mélange air-essence soit en proportions convenables quand cette encoche est masquée à moitié par exemple.

Si on la démasque complètement (position de la figure), la dépression augmente dans le petit carburateur. Comme aucun

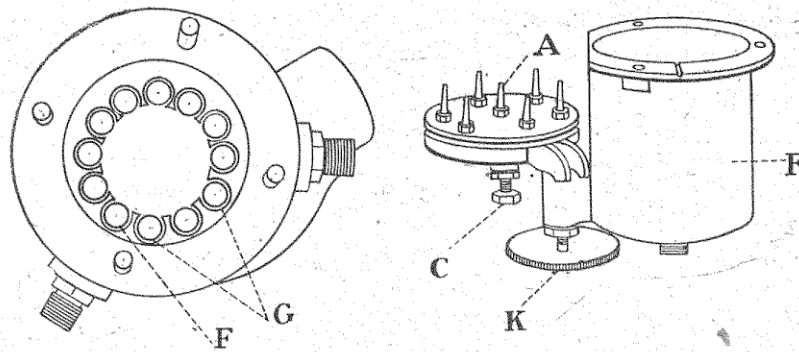


Fig. 88. — Carburateur Daimler,

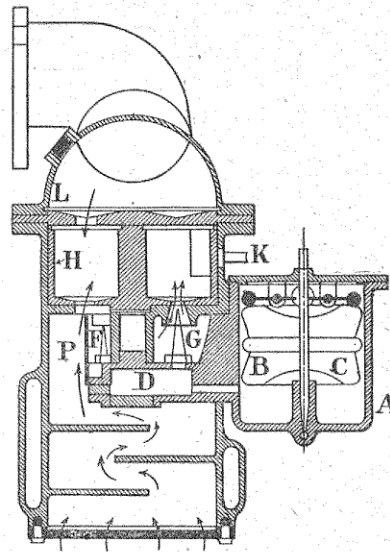


Fig. 89. — Coupe de carburateur Daimler à trois gicleurs.

A, cuve du flotteur; B, flotteur; C, pointeau; D, capacité où arrive l'essence et sur laquelle sont fixés les gicleurs; G, gicleur fonctionnant seul au ralenti; F, un des deux gicleurs fonctionnant aux grandes allures; H, boisseau; K, levier de commande du boisseau; L, passage des gaz; P, passage d'air additionnel.

dispositif d'automatisme n'a été prévu, le mélange va donc être beaucoup plus riche.

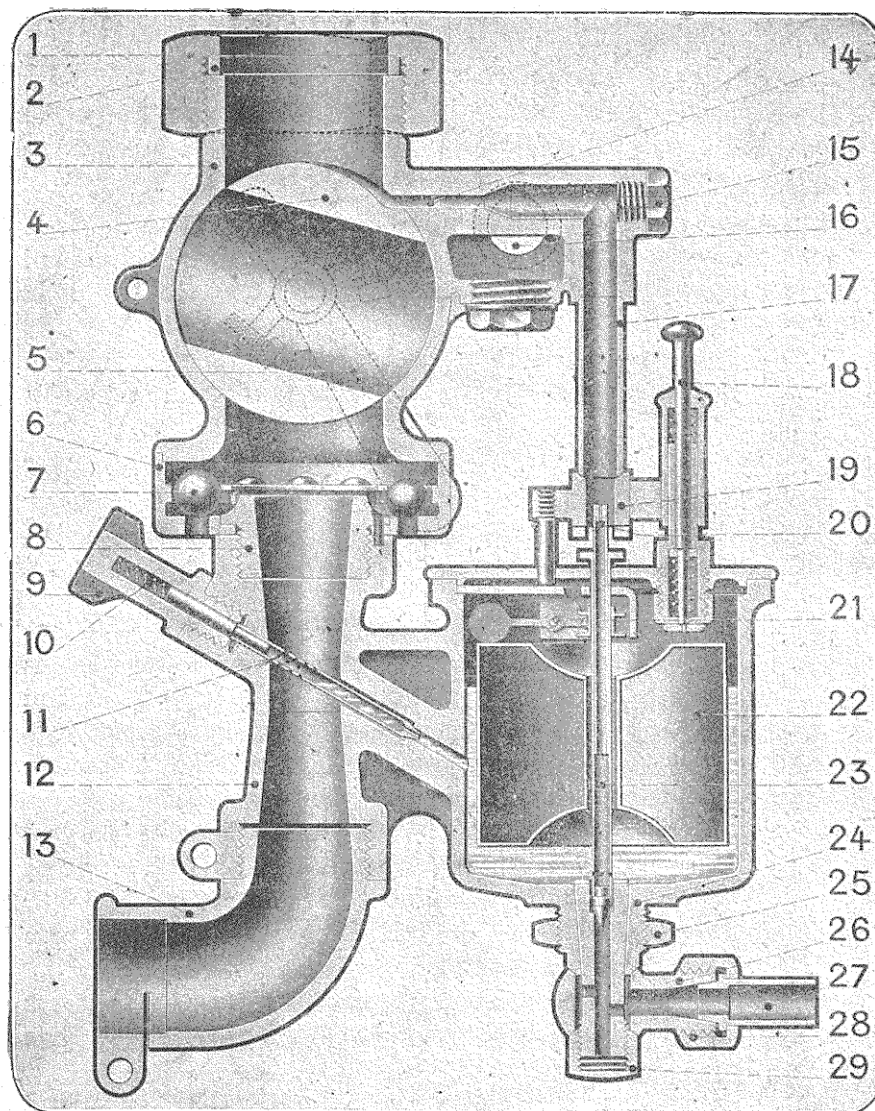


Fig. 90.

1, écrou du raccord d'aspiration; 2, joint; 3, tubulure de sortie des gaz; 4, boisseau; 5, manette du boisseau; 6, cage du dosair; 7, billes; 8, raccord du dosair; 9, bouchon du gicleur; 10, ressort; 11, gicleur principal; 12, chambre de carburation; 13, raccord pour prise d'air chaud; 14, tube d'aspiration du petit carburateur; 15, bouchon; 16, réchauffeur; 17, corps du petit carburateur; 18, poussoir; 19, embase du corps du petit carburateur; 20, petit gicleur; 21, bascules du flotteur; 22, flotteur; 23, pointeau creux; 24, chambre à niveau constant; 25, écrou de fixation du carburateur; 26, 27, 28, raccord d'arrivée d'essence; 29, bouchon de purge.

C'est à ce moment que, continuant le mouvement d'ouverture du boisseau, on démasque le grand carburateur. Tout d'abord c'est de l'air pur qui va arriver par là. Il se mélangera au gaz trop riche venant du petit gicleur pour donner finalement une carburation convenable.

Quand le boisseau est un peu plus ouvert, l'air qui passe dans le grand carburateur commence à se charger d'essence. Le gaz qui arrive par le petit est moins riche que tout à l'heure à cause de la forme calculée de l'encoche du boisseau.

Enfin, quand celle-ci se ferme, le grand carburateur a pris son fonctionnement normal.

194. Action sur la section d'entrée d'air et sur la dépression sur l'air et sur l'essence. — *a) Carburateur Claudel* (fig. 91 et 91^{bis}). — Il se compose d'un boisseau C, mobile autour d'un axe horizontal et commandé par le conducteur du véhicule.

Ce boisseau entoure la tête du gicleur.

L'intérieur de ce boisseau forme chambre de mélange. Les sections de passage creusées dans ce boisseau ont des formes très précises qui font varier la dépression dans la chambre de mélange et sont combinées de telle façon que la partie supérieure du boisseau règle la section de passage du mélange et la partie inférieure la section de passage de l'air additionnel.

Le gicleur est entouré par un lanterneau percé de petits trous *a* à la partie inférieure et *b* à la partie supérieure (fig. 91).

L'air pénètre en *a* et forme une colonne ascendante qui fait jaillir le liquide, lequel, mélangé d'air, sort en *b* dans la chambre de mélange.

Il s'établit par *b* un écoulement d'essence et d'air en proportions variables avec la dépression du moteur et le rapport des sections d'admission de l'air et du gaz.

On obtient ainsi un véritable freinage automatique car le courant d'air qui passe dans le lanterneau passe avec plus de difficulté aux grandes vitesses par suite des changements de direction et le débit d'essence ne varie pas avec la vitesse du moteur, mais avec celle de ce courant d'air.

Le carburateur est complété par :

1° Une vis réglable S qui permet la prise des gaz au ralenti.

2° Une vis de réglage d'air V qui règle l'entrée d'air dans la chambre de carburation.

3° Un volet X qui permet l'obstruction de l'air pour la mise en route.

Ce carburateur donne de très bons résultats.

Le réglage des vis S et V est facile.

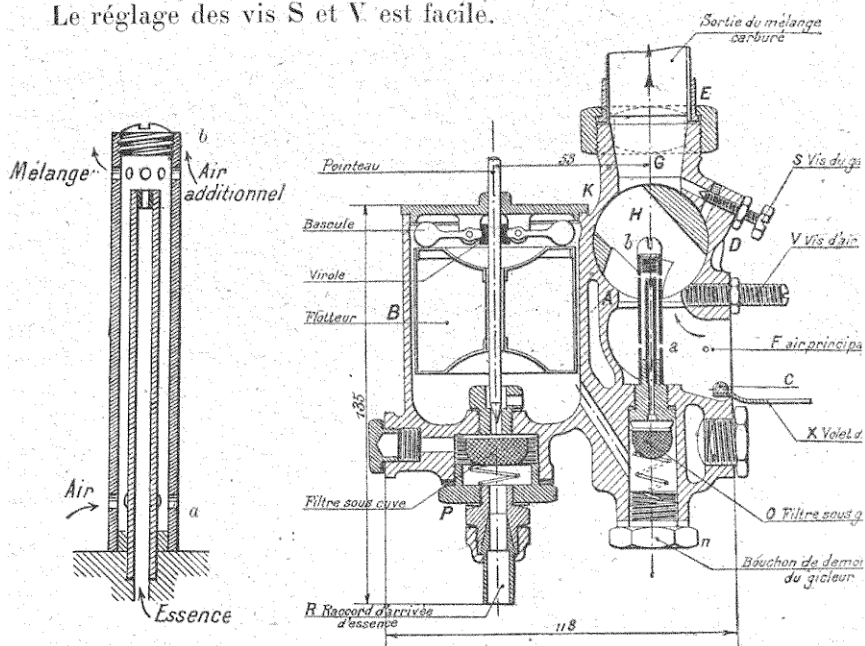


Fig. 91.

Fig. 91 bis.

b) *Nouveau carburateur Longuemare*. — Il comprend deux gicleurs (fig. 92), l'un constitué par une gorge circulaire *i* où l'essence est amenée par des conduits diffuseurs *g*, l'autre par un trou *k*.

Ce dernier gicleur fonctionne seul au ralenti, grâce au trou *k* percé dans le boisseau. Il débite de l'essence provenant du puits *a*, lequel se remplit par l'intermédiaire des conduits *c*.

Le réglage est produit par le déplacement du boisseau *o*, qui peut tourner dans le corps du carburateur.

c) *Carburateur Solex* (fig. 93). — Il comprend deux gicleurs.

Le premier *G* assure, par sa construction, l'automatisme du réglage et la facilité des reprises. Le second *g* assure la mise en route et la marche au ralenti.

L'appareil comporte un niveau constant qui fonctionne simplement par l'action directe du flotteur sur le pointeau d'arrivée de l'essence.

La prise d'air du gicleur *g* est fermée par une bille.

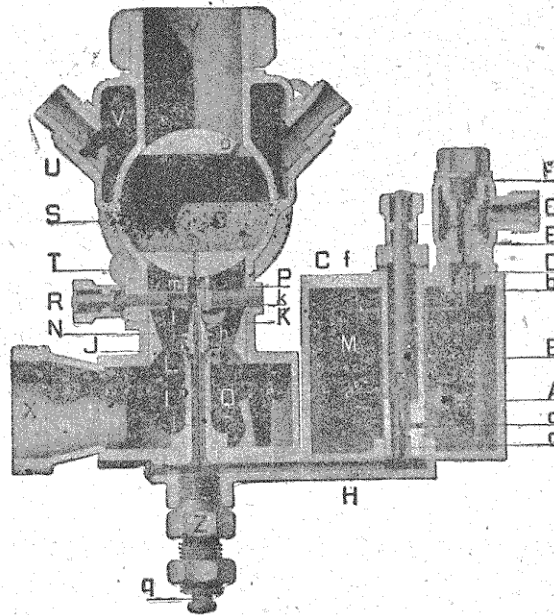


Fig. 92. — Coupe du carburateur Longuemare.

A, corps du niveau constant; B, flotteur; C, couvercle; D, pointeau du flotteur; E, siège du pointeau; F, filtre; G, raccord conique d'arrivée de liquide; H, canal conduisant l'essence de l'appareil à niveau constant au corps du carburateur.

Dispositifs de réglage et de compensation. — M, pointeau de réglage du débit d'essence agissant par étranglement du canal *d* par lequel passe l'essence venant de *c* pour aller en H; *c* et *d*, canaux dont le rôle vient d'être défini; *a*, corps du logement cylindrique du pointeau mis en communication avec l'air atmosphérique par le conduit *f*. A l'intérieur de ce corps se constitue la réserve d'essence qui vient du conduit H par les canaux *e*; *b*, guide du pointeau; *e*, canaux pour l'essence; *f*, canaux pour l'air; I, corps du pulverisateur; J, tête du pulverisateur; L, chambre du pulverisateur; N, tube d'étranglement; *g*, conduits diffuseurs permettant l'arrivée divisée de l'essence qui s'épanouit dans la gorge *i*; *h*, rainure circulaire; *i*, gorge; *j*, conduit central du pulverisateur; X, entrée de l'air; Z, bouchon support.

Carburateur auxiliaire. — P, chambre du carburateur à l'intérieur de laquelle passe l'air primaire au droit du gicleur K; K, gicleur; Q, tube d'alimentation du carburateur auxiliaire; R, pointeau de réglage d'air additionnel du carburateur auxiliaire; K, entrée d'air primaire au carburateur auxiliaire; I, entrée de l'air additionnel qui, par l'orifice *m* pénètre par la chambre P; O, clef; S, logement de la clef; T, manette de commande de la clef; U, raccord du réchauffeur; V, chambre du réchauffeur; Y, sortie du mélange carburé; *n*, canal par lequel passe le mélange carburé du carburateur auxiliaire; *o*, échancrure qui assure le passage entre le conduit Y qui va au moteur et le carburateur auxiliaire par le canal *n*, quand la clef est dans la position de la figure; *p*, butée à vis limitant la course de la clef de distribution pour permettre de régler, de l'extérieur, la quantité de mélange carburé nécessaire pour la marche à l'allure très ralentie.

Au départ, le boisseau V, qui règle l'arrivée du mélange aux

cylindres, est tourné de telle manière que la dépression s'exerce sur le gicleur *g*. Au fur et à mesure que cette dépression augmente, la

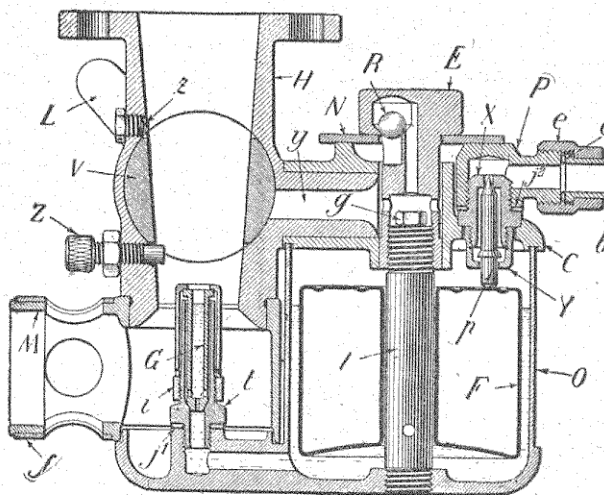


Fig. 93. — Carburateur Solex.

E, écrou permettant le démontage complet; *g*, gicleur de ralenti; G, gicleur principal; *t*, porte-gicleur; *i*, chapeau de gicleur; P, arrivée d'essence; F, flotteur; Z, vis réglant le ralenti; M, entrée d'air; *f*, registre de réglage de réchauffage.

bille R se soulève et permet l'introduction d'une quantité d'air de plus en plus grande.

Pour la marche normale, la communication se trouve coupée entre ce gicleur auxiliaire et la tuyauterie d'aspiration.

Le gicleur G débite seul.

La position du boisseau qui correspond au ralenti à vide est réglée par la vis Z, qui limite la fermeture de ce boisseau. En dévissant cette vis, le ralenti est plus prononcé et réciproquement.

4. — RÉSERVOIRS

195. Alimentation du carburateur. — Le carburateur est alimenté par un réservoir d'essence qui est dit :

En charge, lorsque l'essence peut s'écouler du réservoir au carburateur sous la seule action de la pesanteur;

Sous pression, lorsque le niveau de ce réservoir est trop bas pour

que l'essence puisse se rendre par son poids au carburateur. On est donc obligé, avec ces sortes de réservoirs, d'installer un dispositif établissant dans le réservoir une pression suffisante pour que l'essence puisse remonter au carburateur.

L'essence est introduite dans les réservoirs par un orifice muni d'un filtre.

Dans les réservoirs sous pression, cet orifice doit pouvoir être fermé hermétiquement.

Certains réservoirs (Delahaye) sont munis d'un séparateur d'eau et d'essence basé sur la différence de densité de ces liquides. Lorsque l'essence contient de l'eau, celle-ci se rassemble au bas du séparateur, d'où on peut l'extraire à volonté.

La tuyauterie d'arrivée d'essence au carburateur doit être munie d'un filtre, car les impuretés pourraient faire obstacle au fonctionnement du pointeau ou même encrasser le gicleur dont le trou est de très faible dimension.

196. Réservoirs en charge. — Il n'y a rien de particulier à en dire, sinon que leur position par rapport au carburateur doit être telle que l'essence s'écoule sans obstacle, quelle que puisse être l'inclinaison de la voiture. Le fond doit donc toujours être plus élevé que le niveau du gicleur. La canalisation devra être calculée en tenant compte de la résistance qu'offrent les coudes et sinuosités au passage de l'essence.

Le réservoir doit être percé à sa partie supérieure d'un trou par lequel la pression atmosphérique puisse s'établir.

197. Réservoirs sous pression. — Ces réservoirs peuvent se placer sous le véhicule à un endroit facilement accessible (à l'arrière généralement). Ils sont donc moins encombrants que les précédents. Ils présentent d'autres inconvénients.

La place même où ils sont installés les rend plus fragiles, aussi les protège-t-on souvent par des lattes de bois.

Toute fuite dans la tuyauterie de pression, ou même dans la partie supérieure du réservoir arrête l'arrivée d'essence au carburateur.

Le dispositif de mise sous pression est une complication et le conducteur est dans l'obligation, au départ, d'établir la pression dans le réservoir au moyen d'une petite pompe à main.

Toutefois, dans certains moteurs à réservoir sous pression, on dispose au-dessus du carburateur un petit réservoir appelé « nourrice » qui permet le départ. Un robinet permet, le départ obtenu, d'alimenter le moteur au moyen du réservoir sous pression.

La nourrice est alimentée automatiquement en marche par le réservoir sous pression: un flotteur ferme la communication quand la nourrice est pleine.

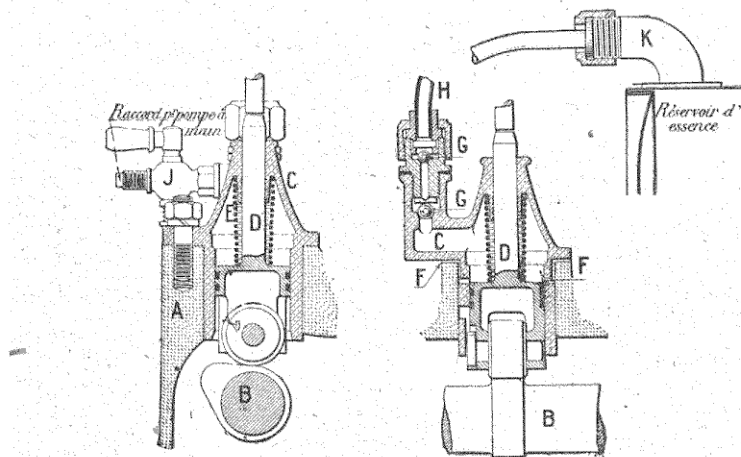
Dans d'autres voitures, il existe deux réservoirs; un en charge, l'autre sous pression, un robinet spécial permet l'alimentation par l'un ou l'autre de ces réservoirs.

Les dispositifs de mise sous pression peuvent être classés en deux catégories.

Dans les uns, le moteur actionne lui-même une petite pompe à air.

Dans les autres, une soupape différentielle permet l'introduction au réservoir d'une certaine quantité des gaz d'échappement, tant que la pression à l'intérieur du réservoir n'est pas supérieure à une valeur fixée par le constructeur.

198. Exemple de compresseur d'air et de soupape différentielle. — Dispositif Panhard et Levassor (fig. 94). — Ce dispositif est constitué



[Fig. 94. — Compresseur d'air (voitures automobiles Panhard et Levassor).

A, carter supérieur du moteur; B, arbre à cames; C, corps du compresseur d'air; D, piston porte-galet; E, ressort de rappel du piston porte-galet; F, orifices d'admission d'air; G, billes formant soupape automatique; H, raccord de départ d'air; J, raccord de pompe à main pour donner la pression initiale; K, tubulure d'entrée d'air au réservoir d'essence.

par un piston à galet maintenu en contact avec un excentrique porté par l'arbre à cames.

Le piston aspire l'air en F et le refoule en H. Les billes C jouent le rôle de soupape automatique.

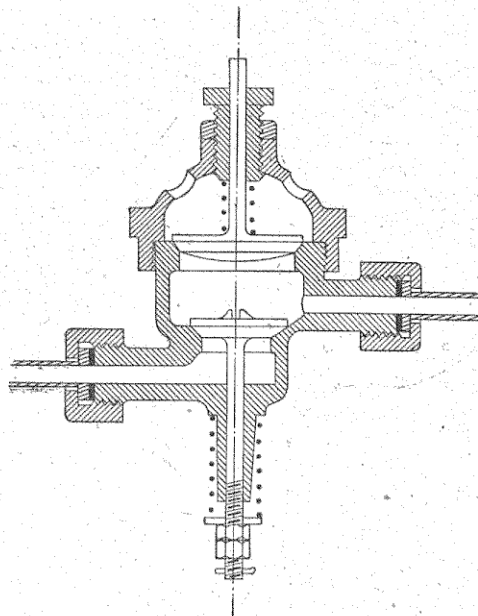


Fig. 95.

Exemple de soupape différentielle (fig. 95).

— La soupape s'ouvre lorsque la force due à la pression des gaz de l'échappement sur sa partie inférieure, est supérieure à la force due à la pression à l'intérieur du réservoir qui agit sur la partie supérieure. Une soupape de sûreté limite la pression à l'intérieur du réservoir.

199. « Exhausteur ». —

Le salon de l'auto de 1919 a vu l'apparition d'un appareil que ses construc-

teurs appellent « exhausteur » dont le but est d'amener l'essence du réservoir au carburateur lorsque la pesanteur ne suffit pas. Cet appareil utilise l'aspiration du moteur pour créer, dans un petit réservoir auxiliaire qui alimente le carburateur, une dépression que comble l'essence du réservoir. Il n'y a donc plus nécessité d'établir une pression dans celui-ci. Au contraire, il doit être en communication avec l'atmosphère, comme un réservoir en charge.

CHAPITRE VIII

ALLUMAGE

1. PROCÉDÉS DIVERS. — Divers types. — Procédés par transport de flamme. — Tube incandescent. — Allumage électrique.
2. ALLUMAGE PAR ACCUMULATEURS. — Sources d'électricité. — Transformateurs. — Interrupteurs. — Dispositifs pour moteur mono et polycylindrique. — Bougies.
3. ALLUMAGE PAR MAGNÉTO « BASSE TENSION ». — Magnéto basse tension. — Rupteurs. — Magnéto basse tension et transformateur séparé.
4. ALLUMAGE PAR MAGNÉTO « HAUTE TENSION ». — Magnéto haute tension. — Commandes. — Avance à l'allumage. — Magnétos à volets tournants. — Dispositif de secours et de départ au contact.

1. — PROCÉDÉS DIVERS

200. Divers types d'allumage. — L'allumage électrique a été tout d'abord employé dans les moteurs à explosion. Abandonné pendant un certain temps, à cause des ratés qu'occasionnaient de mauvais dispositifs, remplacé d'abord par l'allumage par transport de flamme dont nous dirons un mot, puis par l'allumage par tube incandescent que l'on rencontre encore dans certains vieux moteurs, l'allumage électrique, rendu tout à fait pratique, est généralement adopté aujourd'hui.

201. Allumage par transport de flamme. — Ce mode d'allumage consiste à enflammer le mélange gazeux à l'aide d'un petit tiroir rempli d'un peu d'air carburé prélevé sur la cylindrée. Ce tiroir se déplace et vient en présence d'une flamme extérieure qui allume cette petite quantité de gaz. Le tiroir revient ensuite rapidement à sa position initiale et les gaz du cylindre s'enflamment au contact de la petite portion de gaz enflammé portée par le tiroir. Ce système

ne pouvait fonctionner qu'avec de faibles compressions de mélange, sans quoi des fuites importantes étaient inévitables. Il a été supprimé dès que l'on a élevé la compression dans les moteurs.

202. Allumage par tube incandescent. — Sur le côté de la culasse du moteur, est fixé un tube de porcelaine, de nickel ou de platine. Ce tube est fermé à son extrémité extérieure. L'autre extrémité

communiquant avec le cylindre. Par un dispositif quelconque, il est porté à l'incandescence (fig. 96).

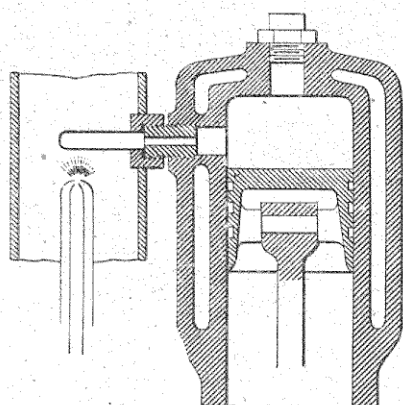


Fig. 96.

Dans les automobiles, où ce système a été longtemps employé, ce tube était chauffé par un brûleur fonctionnant à l'essence de pétrole, ce brûleur était protégé par des tôles contre le vent.

Le mécanisme d'allumage par ce tube incandescent est très simple. A la fin de la course d'échappement le tube

est resté rempli de gaz brûlés, qui y séjournent en se détendant pendant la course d'aspiration. Pendant la course de compression, le volume de ces gaz brûlés résiduels, diminue par suite de la pression que viennent exercer les gaz frais comprimés et peu à peu ces gaz frais pénètrent dans le tube. A un moment donné, les gaz frais viennent en contact avec la paroi incandescente, ils s'allument et un dard de feu traversant le cylindre allume en entier les gaz frais qui y sont contenus.

On voit que le moment exact de l'inflammation dépend de deux conditions : la compression du mélange et le volume intérieur du tube d'allumage.

Si donc on possède un moteur ayant une compression bien fixe et sur lequel est adapté un tube de section déterminée, on pourra, en réglant convenablement la longueur de ce tube, allumer le mélange à l'instant exact que l'on aura choisi.

Si, sur un moteur déterminé muni de l'allumage par tube incan-

descent on veut augmenter l'avance à l'allumage, il faudra diminuer la longueur du tube et inversement; en augmentant cette longueur on diminue l'avance à l'allumage. On peut aussi, pour donner de l'avance, remplacer le tube par un tube de section plus considérable.

Ce mode d'allumage a été légèrement perfectionné sur les moteurs qui l'emploient encore : on le commande mécaniquement à l'aide d'une petite soupape qui, en se levant, établit une communication entre la chambre de compression et le tube. Dans ce cas, il faut, bien entendu, employer un tube d'allumage tel que, lorsque la soupape est ouverte en grand, on ait une grande avance à l'allumage. On réduit à volonté celle-ci en réduisant la levée de la soupape.

On voit immédiatement que si la compression d'un tel moteur vient à diminuer par suite de fuites au piston ou aux soupapes, l'avance à l'allumage diminuera et le rendement du moteur et par conséquent sa puissance en sera diminuée. Si la compression diminue par trop, il arrivera même que l'allumage ne se fera plus ou aura des « ratés d'allumage ».

Ce procédé d'allumage ne permet pas de donner au moteur les qualités de *souplesse* si recherchées aujourd'hui.

L'avance à l'allumage doit, en effet, être d'autant plus considérable que la vitesse à laquelle tourne le moteur est elle-même plus grande.

Or, nous verrons que dans les moteurs actuels, la vitesse se règle en augmentant la quantité de gaz admis dans le cylindre. Évidemment la compression augmente ainsi et si nous nous servons d'un brûleur pour produire l'allumage, l'avance à l'allumage augmentera également, mais la concordance n'est jamais assurée. Si le tube est étudié pour donner un bon allumage aux grandes vitesses, l'allumage sera insuffisant aux allures lentes et réciproquement.

Aussi, l'allumage par tube incandescent qui, d'autre part, présentait un certain danger, a-t-il été *complètement abandonné*.

203. Allumage électrique. — Les grands avantages de l'allumage électrique ont été longtemps masqués par ce fait que lorsque les mélanges gazeux ne sont pas homogènes, l'étincelle peut éclater en un point où le mélange est trop pauvre pour pouvoir s'enflammer. Cet inconvénient, qui rendait l'emploi de l'allumage électrique très

aléatoire sur les moteurs à combustibles gazeux, l'a prohibé complètement dans les moteurs à combustibles liquides, tant que l'on n'a pas trouvé le moyen d'obtenir des mélanges intimes d'air et de carburants.

Les allumages électriques dérivent de plusieurs types que nous allons étudier successivement, mais ces types présentent un caractère commun.

La tension nécessaire pour permettre à l'étincelle de franchir l'espace rempli de gaz qui sépare les pointes entre lesquelles elle jaillit, est d'autant plus considérable que la pression des gaz est plus grande. Ceci explique pourquoi dans les moteurs actuels où le réglage de la vitesse se fait par une plus ou moins grande admission des gaz et dans lesquels, par conséquent, la compression est plus faible aux petites allures qu'aux grandes, l'allumage peut devenir défectueux dès que la vitesse passe une certaine valeur.

La tension d'allumage est comprise entre 8 000 et 12 000 volts.

Mais, par contre, l'énergie électrique n'est pas utilisée d'une manière continue et la quantité dépensée par unité de temps est réduite.

De là vient la possibilité d'employer des sources d'électricité peu puissantes, c'est-à-dire fournissant par unité de temps peu d'énergie.

Ces sources fourniront un courant de faible voltage (courant primaire) dont on élèvera la tension au moment voulu.

Deux procédés peuvent être employés pour cela :

1° Utiliser le phénomène connu sous le nom d'extracourant de rupture.

On constate que toutes les fois que l'on coupe un circuit électrique, on produit, au moment même de la rupture, un courant dont la tension est d'autant plus grande que la rupture est plus brusque et l'intensité du courant coupé plus considérable.

2° Transformer le primaire en un courant dit secondaire et dont le voltage est notablement plus élevé.

De là, les différents types d'allumage électrique que l'on peut classer suivant la nature de la source et le procédé d'utilisation :

1° SOURCE : *Accumulateurs* ou *piles* :

Élévation de la tension : <i>transformation</i>	{	Allumage dit
		par accumulateurs.

2° SOURCE : *Magnéto* :

Élévation de la tension.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rupture brusque} \\ \text{du courant} \\ \text{de la source.} \end{array} \right.$	Allumage dit :	
		par magnéto basse tension et rupteurs.	
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Transformation.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Transformateur} \\ \text{séparé.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Allumage} \\ \text{dit par magnéto} \\ \text{basse tension} \\ \text{et transformateur.} \end{array} \right.$
		$\left\{ \begin{array}{l} \text{Transformateur} \\ \text{faisant corps} \\ \text{avec la magnéto.} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Allumage} \\ \text{dit par magnéto} \\ \text{haute tension.} \end{array} \right.$

Le procédé d'allumage le plus généralement employé est le procédé dit par magnéto de haute tension. L'allumage par accumulateurs après avoir été complètement abandonné a reparu dès qu'on a rendu pratique la charge des accumulateurs par le moteur lui-même (Cadillac, 1919).

2. — ALLUMAGE PAR ACCUMULATEURS

204. Source. — La source d'électricité employée doit donner un courant suffisamment intense et dont la tension varie très peu.

Cette tension est comprise entre 4 et 6 volts.

205. Piles. — On n'utilise plus guère les piles, qui ont l'inconvénient de se polariser, phénomène qui diminue peu à peu l'intensité du courant produit.

Les piles humides ont eu peu de succès, car leur fermeture hermétique était difficile à réaliser.

Les piles sèches ont été plus employées.

Elles sont constituées par du chlorhydrate d'ammoniaque mélangé avec de la sciure, de la gélatine et du plâtre à modeler.

Le pôle négatif est du zinc, le pôle positif du charbon.

On entoure le charbon de bioxyde de manganèse qui, par l'oxygène qu'il dégage, empêche en partie la polarisation.

La polarisation est, en effet, produite par des bulles d'hydrogène qui, en se déposant sur le charbon, empêchent la pile de fonctionner.

Les piles ont l'avantage de ne pas se décharger instantanément par court-circuit comme le font les accumulateurs.

On associe les piles en tension par quatre pour avoir une tension de quatre volts.

206. Accumulateurs. — Les accumulateurs se composent d'électrodes en plomb baignant dans l'acide sulfurique.

Ils ne produisent pas eux-mêmes de courant et doivent être chargés à l'avance.

Ils ont l'avantage de ne pas se polariser et de fournir un courant constant pendant tout le temps de la décharge.

On sait qu'étant donnée une source d'électricité qui donne à ses bornes un voltage V , si on appelle R la résistance totale du circuit, l'intensité du courant sera :

$$\frac{V}{R}$$

Or, la résistance intérieure des piles est très grande, celle des accumulateurs très faible.

Il en résulte que les variations de résistance du circuit extérieur font varier beaucoup plus l'intensité dans un circuit alimenté par des accumulateurs que dans un circuit alimenté par des piles.

En particulier, lorsqu'un court-circuit se produit, c'est-à-dire lorsqu'un courant trouve un passage de résistance presque nulle, l'intensité augmente immédiatement dans les accumulateurs et ceux-ci *se déchargent avec une très grande rapidité*.

Les accumulateurs sont du type :

1° *Planté*. — Électrodes en plomb massif oxydé un grand nombre de fois par passage de courant.

2° *Faure*. — Électrodes constituées par des grillages en plomb comprenant des pastilles d'oxyde rapportées.

L'acide sulfurique des accumulateurs doit marquer de 18° à 24° Baumé.

La tension (voltage) que donne un élément est de 2,5 volts au moment où cesse la charge. La tension diminue pendant la décharge et on doit *arrêter* celle-ci dès que le voltage tombe à 1,8 volt si *l'on veut conserver l'élément dans de bonnes conditions*.

On réunit pour l'allumage les éléments par deux. Le voltage du groupe varie donc de 5 volts à 3,6 volts.

La capacité des éléments varie d'après leurs dimensions. Elle est, en général, inscrite en ampères-heures sur la boîte qui les contient.

L'ampère-heure est la quantité d'électricité qui traverse un circuit pendant une heure lorsque l'intensité du courant est de un ampère.

On voit donc que si l'accumulateur se décharge vite, il fournira un courant plus intense.

On s'assure qu'un accumulateur est chargé, non pas avec un ampèremètre dont la résistance est très faible et qui produirait un court-circuit, mais avec un *voltmètre* qui indique la tension aux bornes.

Quant à la quantité du courant restant, on ne peut que la déduire du temps pendant lequel les accumulateurs ont fonctionné.

Les qualités d'un bon accumulateur sont les suivantes :

Facilité de charge et de décharge ;

Grande capacité ;

Résistance aux trépidations.

La charge des accumulateurs se fait à l'aide de piles ou mieux à l'aide d'un courant d'éclairage continu.

(L'emploi d'un courant alternatif présente des difficultés assez grandes.)

Le courant doit avoir une tension de 2,5 volts par élément et une intensité de 1,75 par kg. de plaques.

On a essayé à différentes reprises d'alimenter les accumulateurs par une dynamo mue par le moteur lui-même. Malheureusement, lorsque la vitesse du moteur décroît, l'intensité du courant fourni baisse et les accumulateurs se déchargent alors dans la dynamo : il faut donc interposer entre eux un appareil qui coupe le courant au moment voulu. Nous y reviendrons au livre II lorsque nous étudierons les dispositifs employés pour assurer l'éclairage électrique et le démarrage automatique des voitures.

207. Transformateur. — On appelle, en général, transformateur, un appareil qui, recevant un courant électrique sous une certaine intensité et une certaine tension, produit un courant de tension et d'intensité différents.

Le transformateur employé dans l'automobile dérive de la bobine de Ruhmkorff.

Elle comprend essentiellement :

1° Un noyau de fer doux pouvant s'aimanter et se désaimanter très rapidement et dont l'action magnétique renforce celle du courant inducteur.

Ce noyau est composé de fils ou de lames afin de diminuer les courants parasites qui peuvent prendre naissance dans ce noyau, courants qui absorbent inutilement de l'énergie en échauffant l'appareil.

2° Un enroulement de fil de gros diamètre ne faisant que peu de tours et qui reçoit le courant primaire ou *inducteur* qui vient de la source.

3° Un enroulement en fil fin faisant un très grand nombre de tours et dans lequel se produit le courant secondaire ou courant *induit*.

On constate que, toutes les fois que l'intensité du courant primaire varie, un courant se manifeste dans le secondaire. Ce phénomène a reçu le nom d'induction.

208. Lois de transformation du courant électrique. — Le courant secondaire obéit aux lois suivantes :

1° Sa tension est beaucoup plus forte que celle du primaire et d'autant plus forte que la variation d'intensité du primaire est plus brusque et que le rapport du nombre de spires secondaires et primaires est plus élevé.

2° Le courant secondaire ne dépend que des variations d'intensité du primaire et non de la valeur absolue de cette intensité.

3° La durée du courant secondaire est égale à la durée de la variation du primaire.

4° Le sens du secondaire est tel qu'il s'oppose à la variation de champ magnétique qui le fait naître (Loi de Lenz).

Le moyen le plus simple (et le seul employé en automobile) pour faire varier l'intensité du primaire est de le rompre brusquement. Cette rupture produit un courant secondaire dont l'effet magnétique tend à s'opposer à la variation du champ, ce courant secondaire aura donc le même sens que le primaire.

Réciproquement, au moment où l'on établit le courant primaire, il se produit dans le secondaire un courant qui s'oppose à l'établissement du champ, donc de sens contraire au primaire.

On constate expérimentalement que le courant secondaire produit par l'interruption a une tension plus considérable que celui produit par l'établissement du courant.

On construira donc les transformateurs de manière à utiliser le courant produit par rupture du primaire, et on lui donnera des caractéristiques telles (rupture rapide, rapport suffisant entre le nombre des spires au primaire et au secondaire), pour que la tension de ce dernier courant soit suffisante pour produire une étincelle entre deux pointes situées dans le cylindre.

209. Self-induction. — L'induction agit tout aussi bien sur le circuit primaire que sur le secondaire et lorsque l'intensité du primaire varie, le circuit *primaire* lui-même est traversé par un courant obéissant aux lois ci-dessus et que l'on appelle courant de self-induction.

A chaque rupture du primaire, de la bobine de Ruhmkorff, il se produit donc un courant de self-induction, appelé *extracourant de rupture*, qui tend à prolonger le primaire. La présence de cet extracourant rend la rupture moins brusque, ce qui affaiblit la tension au secondaire.

Pour éviter cet inconvénient, on place en dérivation sur le circuit primaire un condensateur.

Le courant de self-induction de rupture charge ce condensateur et l'électricité ainsi accumulée se décharge dans le primaire à la prochaine fermeture.

Ce condensateur a aussi l'avantage de supprimer les étincelles que le courant de self-induction pourrait faire éclater dans le dispositif qui produit la rupture.

210. Interrupteurs ou Rupteurs. — On appelle ainsi les appareils qui produisent les ruptures du courant primaire.

Les interrupteurs employés avec les transformateurs dont le primaire est alimenté par des piles ou accumulateurs, sont de deux sortes :

- 1° Magnétiques;
- 2° Mécaniques.

Ils doivent, de toute façon, être robustes et garder longtemps le réglage.

244. Interrupteur magnétique. — La figure 97 représente le schéma d'une bobine de Ruhmkorff munie d'un interrupteur magnétique que l'on appelle aussi trembleur.

Il se compose d'une lame portant à son extrémité un petit marteau : à cette lame qui forme ressort, s'applique une vis de réglage *j* reliée à l'une des extrémités du circuit primaire; l'extrémité de cette lame est reliée à la source. Un condensateur est placé en dérivation entre la lame et le circuit.

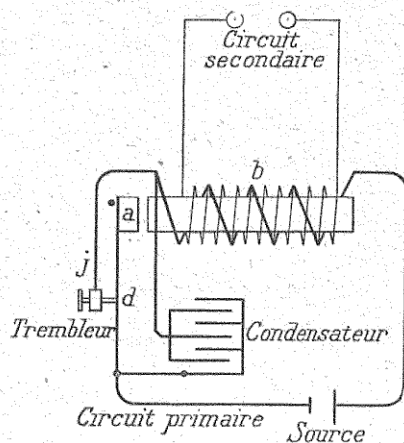


Fig. 97. — Schéma de la bobine de Ruhmkorff.

Le fonctionnement de cet interrupteur est le suivant :

Lorsque le courant ne passe pas, la lame est en contact avec la vis *j*.

Aussitôt que le courant est établi, le noyau *b* s'aimante et le marteau *a* est attiré; le courant est rompu (un courant s'établit alors dans le secondaire). Mais à ce moment, le noyau se désaimante, puisque le primaire ne passe plus, la

lame formant ressort est rappelée sur la vis *j*, le courant repasse, etc....

Cet interrupteur vibre et peut produire un certain nombre d'interruptions (et par conséquent d'étincelles au secondaire) pendant le temps pendant lequel le courant primaire est établi.

Les interrupteurs magnétiques ont une inertie assez grande et ne peuvent donner plus de 85 interruptions par seconde; chaque interruption dure donc $\frac{1}{85}$ de seconde, c'est-à-dire un temps relativement long⁽¹⁾.

Or, le moment où commence l'allumage est rigoureusement déterminé et le temps pendant lequel l'allumage doit se produire

(1) Pour un moteur qui tourne à 1 800 tours, l'arbre fait plus d'un tiers de tour en $\frac{1}{85}$ de seconde.

est très court. Pratiquement, ce laps de temps est déterminé dans l'allumage par distributeur (§ 243) par une touche métallique qui frotte sur un plot juste le temps nécessaire.

Aux vitesses élevées, l'interrupteur pourra tout juste produire pendant ce temps une interruption du primaire et si la vitesse augmente encore, l'allumage ne se produira plus.

242. Interrupteur mécanique. — Pour éviter cet inconvénient, on a essayé d'employer des interrupteurs mécaniques qui comprennent une lame formant ressort, laquelle ferme le courant en s'appliquant sur une vis réglable.

Le mouvement de cette lame est déterminé par une came.

Dans le dispositif employé autrefois par de Dion-Bouton (fig. 98), cette came

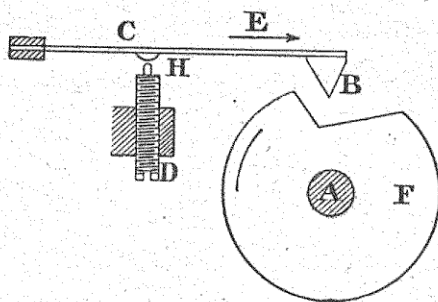


Fig. 98.

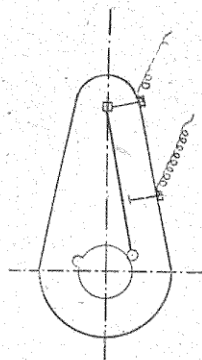


Fig. 99.

montée sur l'arbre de distribution présente une encoche dans laquelle vient tomber un marteau porté par la lame vibrante.

Cette lame fait ainsi une série plus ou moins longue d'oscillations qui correspond à une série d'étincelles, mais on est toujours certain d'avoir au moins une rupture.

On a aussi utilisé des dispositifs d'interruption dans lesquels la lame était repoussée par une came (fig. 99).

Dans les procédés d'allumage par magnéto, l'intensité du courant primaire est suffisante pour qu'une seule rupture provoque la formation d'un courant de tension assez forte pour qu'une seule étincelle enflamme complètement le mélange; l'interrupteur sera donc très simple et commandé mécaniquement.

Nous en verrons plus loin des exemples.

213. Réalisation du dispositif d'allumage par accumulateurs. — Nous donnons ci-dessous le schéma de dispositifs d'allumage par accumulateurs. Ce procédé après avoir été, comme nous l'avons dit, totalement abandonné, reçoit de nouvelles applications.

1° MOTEUR MONOCYLINDRIQUE.

a) Bobine à trembleur magnétique. — Le dispositif comprend (fig. 100) :

- Une source d'électricité *ef* (piles ou accumulateurs);
- Une came d'allumage *h*.

Cette came, en matière isolante, tourne à demi-vitesse du moteur. Elle comporte une touche conductrice *h* qui peut frotter contre un plot *s* et envoie le courant de la source dans le *primaire* de la bobine au moment où l'allumage doit se produire.

- Une bobine avec son interrupteur magnétique;
- Une bougie (voir § 215).

Cette bougie est placée dans le cylindre. C'est entre ses pointes que se produit l'étincelle qui allume le mélange.

La source est reliée à la came et à la bobine par un fil appelé fil de pile (isolement faible).

Le retour du courant se fait par la masse même du moteur.

De même, le secondaire de la bobine est relié par un seul fil appelé fil de bougie (fort isolement) à une des pointes de la bougie.

L'autre pointe est reliée à l'autre extrémité du secondaire par la masse du moteur.

Un commutateur placé sur le circuit primaire permet d'arrêter le moteur en coupant l'allumage.

L'avance à l'allumage se règle en faisant tourner la pièce qui supporte le plot autour de l'axe de la came, dans le sens opposé à celui de la rotation de la came pour donner de l'avance, dans le même sens pour donner du retard.

b) Bobine sans trembleur magnétique. — Ce dispositif comprend :

- Une source;
- Un interrupteur mécanique;
- Une bobine sans trembleur;
- Une bougie.

L'avance à l'allumage se règle en faisant tourner autour de l'axe de la came le bâti qui supporte la lame vibrante.

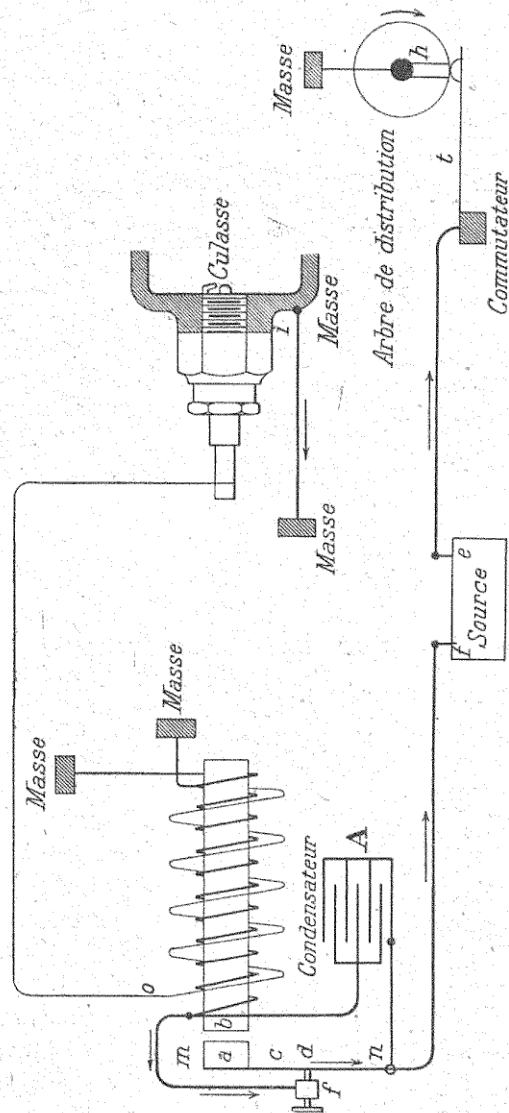


Fig. 100.

2° MOTEUR POLYCYLINDRIQUE. — Pour les moteurs à plusieurs cylindres, les dispositifs décrits ci-dessus doivent être complétés

par un appareil appelé distributeur et dont le rôle est de faire éclater l'étincelle dans le cylindre où elle doit aller.

On obtient ainsi différents mécanismes qui diffèrent suivant que

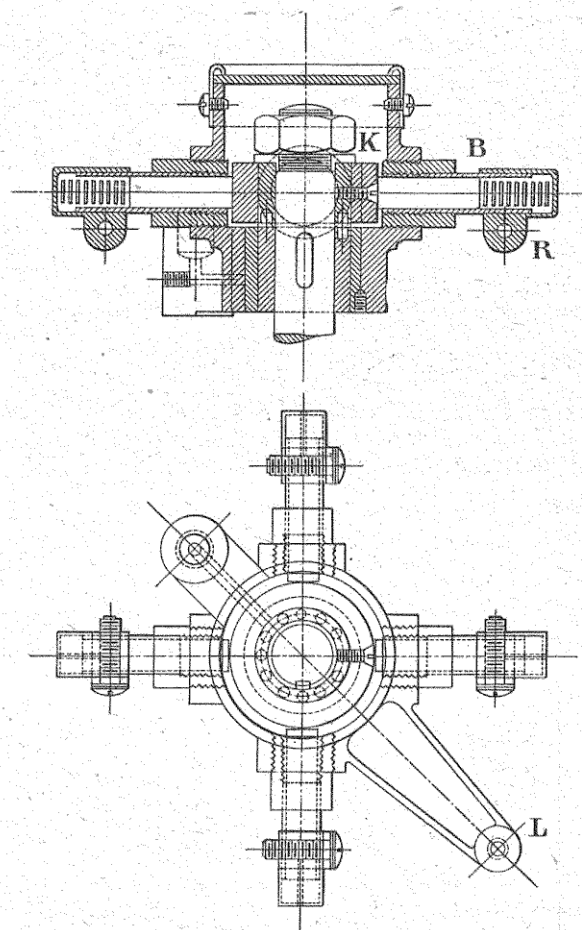


Fig. 101.

l'on emploie des trembleurs magnétiques ou mécaniques et des distributeurs fonctionnant sur le primaire ou le secondaire.

a) *Distributeur sur le primaire.* — 1) *Trembleurs magnétiques.* —

Le circuit comprend :

Source;

Distributeur.

Le distributeur (fig. 401) est une came en matière isolante portant une touche en matière conductrice. Cette touche, par son contact avec un des plots disposés sur la périphérie de la came, envoie le courant dans le cylindre réuni à ce plot.

Bobines-trembleurs (une par cylindre);

Bougies (une par cylindre).

L'avance se donne par pivotement du porte-plots autour de l'axe de la came.

2) *Trembleurs mécaniques.* — Le circuit comprend :

Source;

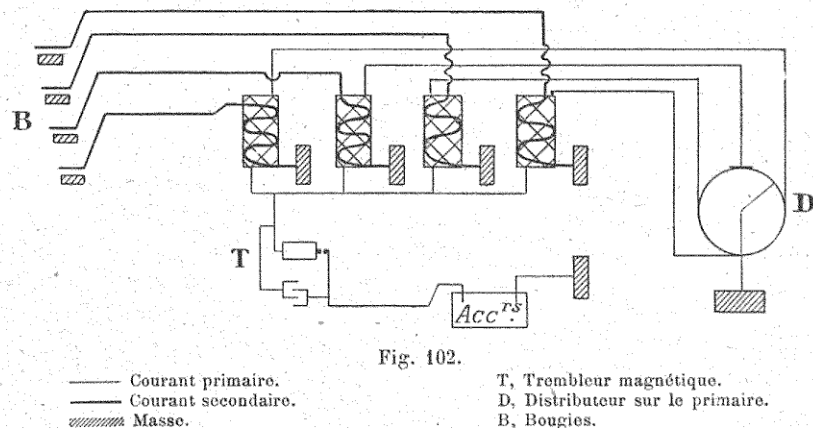
Trembleurs mécaniques formant distributeur sur le primaire (un par bobine);

Bobines (une par cylindre);

Bougies (d°).

L'avance à l'allumage se donne par pivotement du bâti supportant les trembleurs.

Pour simplifier, on a utilisé quelquefois un seul trembleur, soit magnétique (fig. 402), soit mécanique, pour l'ensemble des bobines.



A titre d'exemple, nous donnerons le schéma d'une installation de ce genre (Delahaye, quatre cylindres, 1908).

Elle comprend (fig. 403) :

Une source;

Un interrupteur

Un distributeur

} montés sur le même arbre (fig. 404);

Des bobines (une par cylindre);

Des bougies (d°).

Le distributeur-rupteur est formé (fig. 104) :

- 1° D'une part, d'une lame P vibrant sous l'action des bossages d'un galet A;
- 2° D'une came (non indiquée sur la figure 104) dont le mouvement est lié à

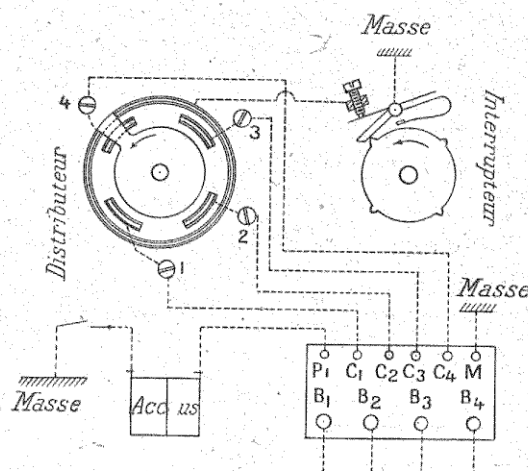


Fig. 103. — Schéma de l'allumage par accumulateur et bobines.

celui de A de telle manière que la touche qu'elle porte frotte sur les secteurs 1, 2, 3, 4 lorsque la lame vibre.

L'avance se donne par pivotement du distributeur-rupteur.

b) Distributeur sur le secondaire. — Ce procédé, plus pratique que le précédent, a été utilisé dès que l'on a su faire des distributeurs suffisamment isolés pour résister à 10 ou 15 000 volts. Il permet de n'employer qu'une seule bobine. Les dispositifs sont les suivants :

1) *Trembleur magnétique :*

Source;

Came d'allumage.

Cette came établit le courant primaire au moment où une étincelle doit jaillir dans un des cylindres.

Bobine avec trembleur (une seule);
Distributeur.

Ce distributeur doit porter autant de plots qu'il y a de cylindres.

Bougies (une par cylindre);
L'avance se donne sur la came.

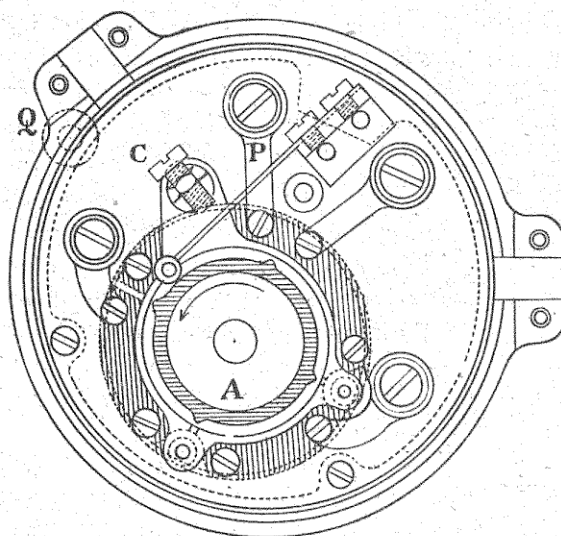


Fig. 104.

2) Trembleur mécanique :

Source;
Trembleur formant came d'allumage;
Bobine;
Distributeur;
Bougies.

214. Organisation du distributeur. — Nous avons vu que le distributeur contenait une came et des plots.

La came tourne en général à la vitesse de l'arbre de distribution (demi-vitesse du moteur).

On voit donc que les plots doivent alors être disposés de la manière suivante :

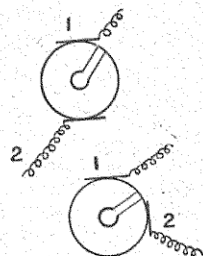


Fig. 105.

1° Moteur à deux cylindres (fig. 105) :

calés à 0° : deux plots diamétralement opposés;
calés à 180° : deux plots à 90° l'un de l'autre.

2° Moteur à trois cylindres : trois plots à 120° .

3° Moteur à quatre cylindres : quatre plots à 90° .

215. Bougies. — Les bougies sont constituées (fig. 106) par un cylindre isolant en porcelaine ou en mica traversé suivant son axe par un fil aboutissant à une pointe.

Le cylindre isolant est entouré par une masse métallique qui peut se visser sur le cylindre.

La masse métallique est reliée à une seconde pointe placée vis-à-vis de la première.

Pour que la bougie fonctionne bien, il faut que les pointes ne soient pas écartées de plus d'un millimètre (un demi-millimètre est une bonne distance).

La moindre fêlure de la porcelaine (fêlure qui peut se produire par une différence de dilatation, un choc, un serrage trop fort), peut faire éclater l'étincelle dans la bougie même, ce qui produit des ratés.

Il faut aussi veiller à ce que la bougie ne s'encrasse pas, ce qui se produit quelquefois par excès d'huile. Dans ce cas aucune étincelle ne se produit.

Les bougies sont réunies au distributeur *dans l'ordre des explosions* par des fils *fortement isolés* dit : fils de bougie.

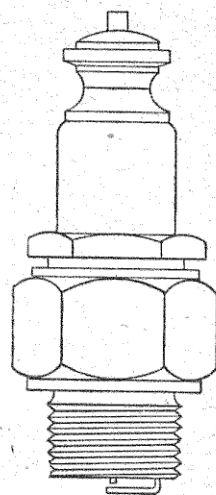


Fig. 106.

3. — ALLUMAGE PAR MAGNÉTO BASSE TENSION ET ALLUMAGE PAR RUPTURE

216. Magnéto. — La magnéto employée sur les moteurs à explosion est un petit générateur de courant alternatif comprenant un

inducteur formé d'aimants permanents en fer à cheval, et un induit constitué par un noyau de fer doux (fig. 107) sur lequel est enroulé un fil conducteur.

Toutes les fois que l'induit se déplace dans le champ magnétique produit par les inducteurs, ou que, l'induit restant fixe, ce champ magnétique lui-même varie, un courant passe dans le fil enroulé sur l'induit.

On distingue :

1° les magnétos tournantes, dans lesquelles l'induit effectue des rotations complètes (fig. 108).

2° Les magnétos oscillantes, dans lesquelles le déplacement de l'induit se fait par oscillations autour de son axe.

3° Les magnétos à volets tournants dans lesquelles, l'inducteur et l'induit restant fixes, on produit une variation du champ magnétique par la rotation de volets en fer doux qui tournent autour de l'axe de l'induit (fig. 109).

Lorsque l'on a commencé à installer sur les voitures automobiles des dispositifs d'allumage par magnéto, on a utilisé des magnétos

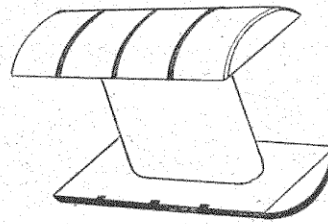


Fig. 107.

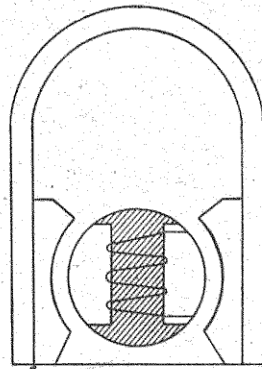


Fig. 108. — Magnéto tournante.

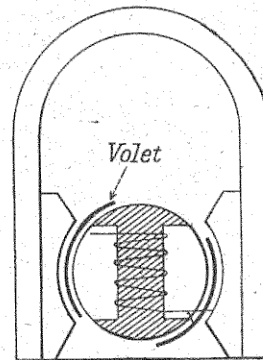


Fig. 109. — Magnéto à volets tournants.

à volets tournants; ces appareils présentaient l'avantage d'avoir un induit fixe, ce qui permettait un isolement plus facile que dans

les magnétos tournantes où l'on est obligé de recourir à des collecteurs et à des balais.

Depuis, on est parvenu à faire des magnétos tournantes fort bien isolées, et comme elles sont plus légères et plus simples que les précédentes, elles sont actuellement seules employées.

Quant aux magnétos oscillantes, elles sont réservées aux moteurs fixes.

217. Fonctionnement de la magnéto. — Nous nous occuperons donc spécialement de la magnéto tournante, la plus employée.

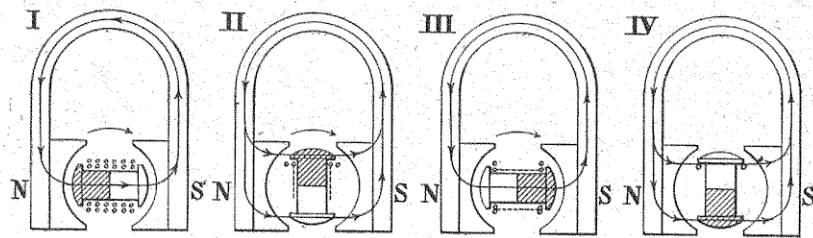


Fig. 110.

C'est encore à des phénomènes d'induction qu'est due la production du courant.

Considérons (fig. 110) une spire de l'enroulement et faisons-la tourner d'un tour complet; on voit qu'elle est traversée dans la position I par un flux magnétique dirigé du pôle Nord des aimants inducteurs vers le pôle Sud.

Dans la position II, la spire n'est traversée par aucun flux.

Dans la position III, le flux est le même que dans la position II, mais il entre par la face opposée de la spire considérée.

Il en est de même pour la position IV comparée à la position II.

Le flux embrassé par une face de spire varie et si l'on représente ses variations par une courbe, celle-ci présente la forme suivante :

Le flux est maximum pour la position I, nul pour II, et pour la position III, il a même valeur absolue que pour I, mais il est dirigé en sens contraire, etc.

Cette variation engendre dans chaque spire un courant qui obéit aux lois suivantes :

1° Ce courant dure le temps de la variation;

2° Il est maximum lorsque la variation se produit dans le minimum de temps;

3° Son sens est tel que le flux magnétique qu'il crée s'oppose à la variation qui l'a fait naître.

La variation du champ est continue, mais nous voyons que dans un même temps représenté par ab et $a'b'$, la variation est très grande

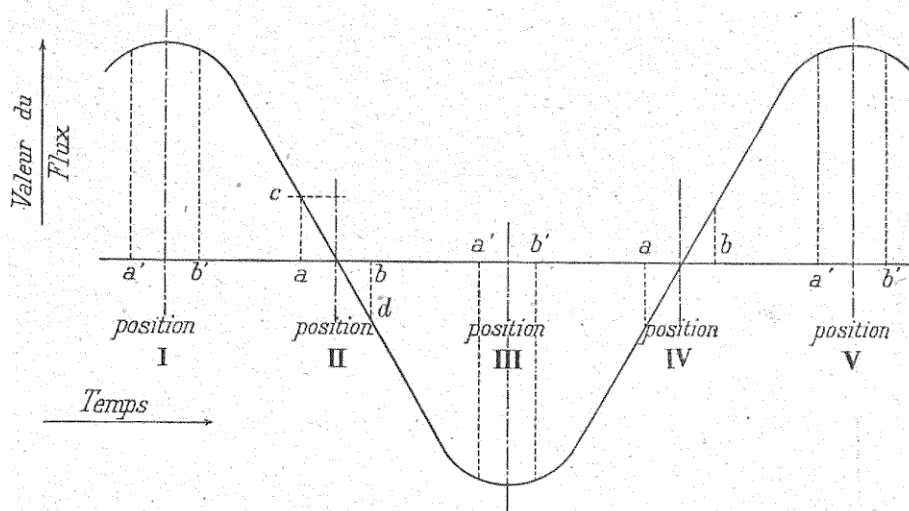


Fig. 110 bis.

à la position II (où elle est égale à cd). Au contraire à la position I elle est nulle (le flux a la même valeur au temps a' et au temps b').

Il en résulte que le courant induit est maximum aux positions I, III, V et nul aux positions II, IV, etc.

Quant au sens du courant, une étude plus complète montrerait qu'il change lorsque l'induit traverse les positions I et III.

La magnéto fournit donc un courant alternatif. Les tensions des courants produits dans chacune des spires s'ajoutent si bien que le courant total donné par la magnéto varie avec :

- 1° Le nombre de spires de l'induit;
- 2° Le flux magnétique des inducteurs;
- 3° La rapidité de la variation du flux dans les spires et par conséquent la vitesse de rotation de l'induit.

Le fait que la magnéto produit du courant alternatif n'a aucune

importance, car on n'utilise le courant qu'au moment des maxima d'intensité. C'est à ces moments précis qu'on le rompt⁽¹⁾ pour produire soit l'extracourant de rupture (§ 220), soit le courant secondaire (§ 222 et 223) et c'est la valeur absolue seule de cette intensité qui est intéressante et non pas le sens dans lequel le courant passe.

218. Constitution de la magnéto. — Les inducteurs sont des aimants en fer à cheval (fig. 111) terminés par des pièces polaires dont le but est de répartir uniformément le flux magnétique autour de l'induit et de diminuer l'entrefer, c'est-à-dire l'espace entre les inducteurs et le noyau de l'induit.

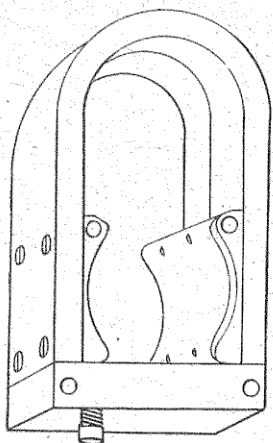


Fig. 111.

L'aimantation des inducteurs n'est influencée ni par les chocs et vibrations, ni par la température élevée du moteur.

Quant à l'induit, il est constitué par un noyau en double T de manière à canaliser le flux magnétique, soit pour augmenter ainsi l'intensité du flux qui traverse les spires, soit au contraire pour l'en écarter complètement.

Sur la magnéto à basse tension, le noyau reçoit le fil dans lequel passe le courant induit; ce fil est relié par une extrémité à la masse, l'autre extrémité est reliée par un fil isolé à l'interrupteur calé à l'extrémité de l'arbre qui porte l'induit.

Sur la magnéto dite à haute tension, l'induit comporte deux enroulements (§ 223).

Les spires du circuit induit sont isolées les unes des autres par du papier laqué.

219. Vitesse de rotation. — Puisque nous n'utilisons que les maxima d'intensité, nous voyons que la magnéto peut fournir deux allumages par tour de l'induit.

(1) Afin d'obtenir instantanément la plus grande variation possible dans l'intensité du courant.

Pour un moteur à un cylindre, il suffirait donc que la magnéto tourne au quart de la vitesse du moteur.

Mais, pour augmenter l'intensité du courant produit qui serait insuffisante au départ lorsque l'on tourne le moteur à la main, on préfère laisser tourner la magnéto à la demi-vitesse du moteur et utiliser un seul des maxima.

On voit en effet que la magnéto fournira, dans ce cas, une étincelle qui, grâce à l'avance à l'allumage, éclatera à la fin de la compression, et une autre *qui éclatera à la fin de l'échappement* et qui n'aura par conséquent pas d'effet.

Pour un moteur à deux cylindres à 0° , on peut faire tourner la magnéto à demi-vitesse du moteur; pour un moteur à deux cylindres à 180° , qui nécessite deux allumages dans un même tour, il faut faire tourner la magnéto à la vitesse du moteur. Il en est de même pour le moteur à quatre cylindres.

Dans un moteur à six cylindres, on doit avoir six explosions par deux tours du moteur, il faut donc que la magnéto en fasse trois, c'est-à-dire qu'elle tourne à la vitesse deux tiers.

Dans un moteur à huit cylindres, la magnéto devrait tourner à une vitesse double de celle du moteur; mais la tension produite à cette vitesse est telle que les isolants résistent difficilement. Il est alors préférable d'employer soit deux magnétos, soit une magnéto à volets tournants qui donne quatre étincelles par tour (§ 229).

Des distributeurs analogues à ceux que nous avons déjà vus envoient le courant au cylindre voulu.

220. Allumage par extracourant de rupture. — Ce dispositif utilise l'extracourant de rupture du primaire; le courant primaire fourni par une magnéto est, en effet, assez intense au moment du maximum d'intensité, pour que sa rupture à ce moment produise une étincelle d'extracourant suffisante pour enflammer le mélange.

Ce procédé d'allumage, inventé au moment où l'on ne savait pas encore construire de magnétos dites à haute tension, *a été rejeté dès l'apparition de ces dernières*. Ce procédé nécessite comme nous allons le voir un mécanisme à l'intérieur des cylindres, mécanisme commandé de l'extérieur, d'où fuites par le trou de passage de la commande. Il était de plus presque impossible d'empêcher le dérèglement du mécanisme au bout d'un temps assez court.

221. Dispositif. — Le dispositif comprend :

Une magnéto donnant un courant dont la tension est de 50 à 100 volts.

Un rupteur composé de deux pièces métalliques qui s'écartent brusquement au moment où l'étincelle doit se produire (fig. 112).

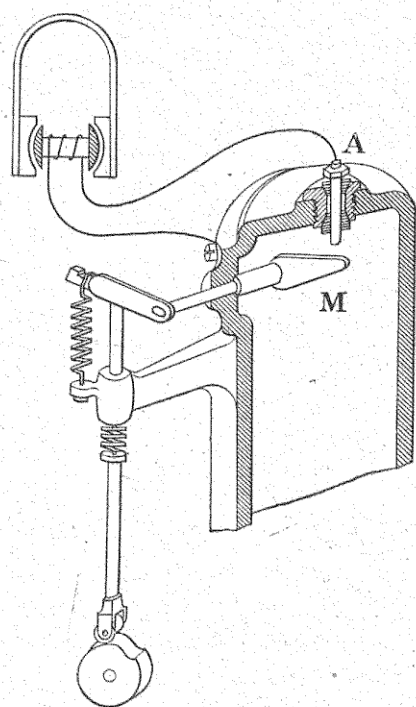


Fig. 112.

Le rupteur comprend une partie fixe ou tampon A et un levier M.

Le circuit est ouvert à l'intérieur du cylindre. Il se ferme un instant avant le moment correspondant au maximum d'intensité; au moment du maximum le levier s'écarte et l'étincelle se produit.

On voit que, dans ce dispositif, la longueur des fils est réduite au minimum. Il suffit de réunir les cylindres à la magnéto sans transformateur, mais il faut une came de commande par cylindre.

222. Allumage par magnéto et transformateur séparé. — Le courant de la magnéto est envoyé (fig. 113) dans un transformateur analogue à celui que nous avons décrit. On coupe

ce courant au moment des maxima d'intensité et l'on obtient dans le transformateur un courant secondaire qui produit l'étincelle entre les pointes des bougies.

La rupture est faite par deux vis platinées qu'un dispositif écarte au moment voulu.

Un condensateur est installé en dérivation pour empêcher l'extracourant de rupture.

La maison Eiseman-Lavalette, qui fabrique ce dispositif d'allumage, emploie le schéma suivant (fig. 114).

Le circuit primaire est constamment fermé et comprend le primaire du transformateur.
L'interrupteur est monté en dérivation.

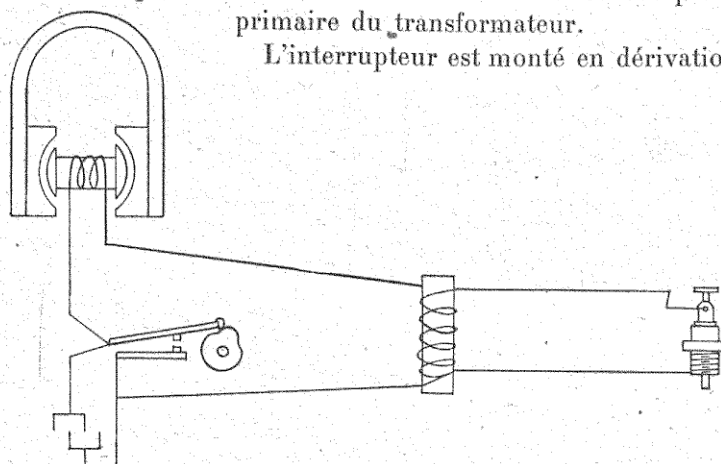


Fig. 113. — Schéma de l'allumage par magnéto et transformateur.

Lorsque cet interrupteur est fermé, le courant y passe, car sa résistance est presque nulle à côté de celle du circuit du transformateur.

Au moment du maximum, une came montée sur l'arbre de la magnéto fait fonctionner l'interrupteur.

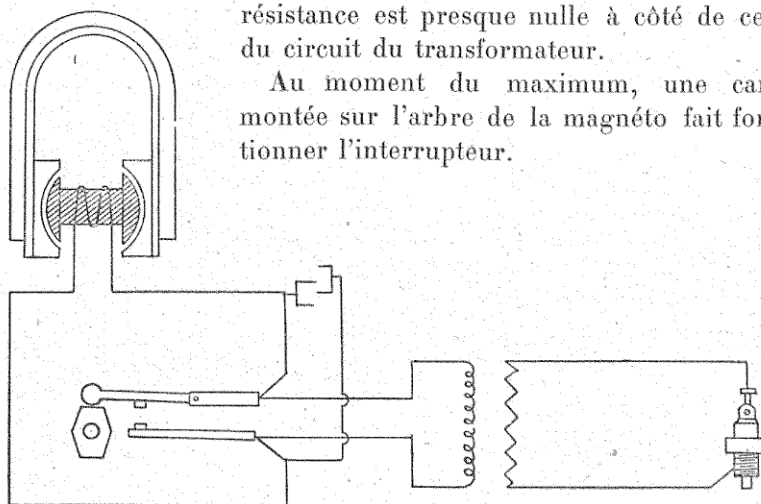


Fig. 114. — Dispositif à dérivation du courant primaire dans un transformateur.

Le courant passe dans le transformateur et cesse aussitôt.

L'étincelle d'extracourant de rupture à l'interrupteur est absorbée par un condensateur.

mage par magnéto, il est bien suffisant d'avoir au secondaire une tension de 8 à 9 000 volts, on voit que la distance qui sépare les pointes du parafoudre doit être d'environ 10 millimètres.

Comme dans tous les dispositifs d'allumage électrique, un interrupteur permet de couper le courant.

Enfin, la magnéto possède parfois un plot qui permet de l'isoler complètement du transformateur.

Le système à transformateur séparé a l'avantage d'isoler le transformateur, ainsi que les organes à haute tension des organes à basse tension.

En revanche, il est plus compliqué que le suivant.

4. — ALLUMAGE PAR MAGNÉTO HAUTE TENSION

223. Magnéto haute tension. — Bien que la magnéto ne puisse produire d'elle-même qu'un courant à basse tension, on appelle magnétos haute tension celles dont le transformateur (§ 207 et 208) est constitué par l'induit lui-même qui porte, en plus de l'enroulement primaire, un enroulement secondaire en fil très long et très fin.

Le courant primaire est coupé au moment des maxima par un interrupteur muni d'un condensateur. Une extrémité de l'enroulement primaire est à la masse, l'autre à l'interrupteur. — Quant au secondaire, une des extrémités est soudée au fil primaire et est ainsi réunie à la masse, l'autre est liée par une tige isolée à une bague portée par l'axe de l'induit, d'où, par un balai, le courant secondaire est conduit :

Soit au cylindre [moteur monocylindrique] (fig. 117).

Soit au distributeur [moteur polycylindrique] (fig. 118 et 119).

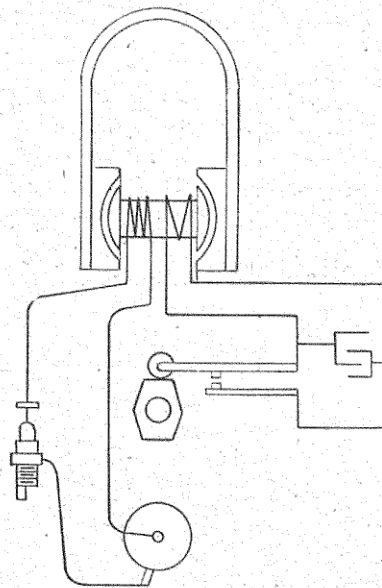


Fig. 117. — Schéma de l'allumage par magnéto dite haute tension.

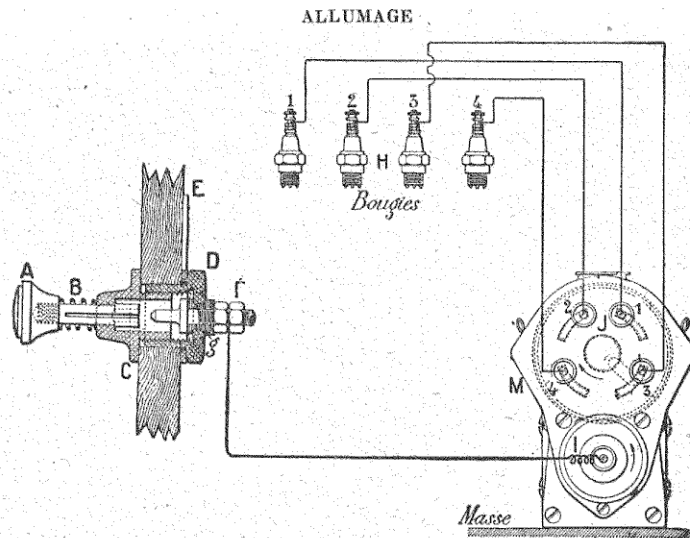


Fig. 118. — Schéma d'allumage pour moteur à quatre cylindres (Panhard et Levassor).

A, bouton de l'interrupteur; B, ressort maintenant le bouton dans la position de marche; C, corps de l'interrupteur; D, support du plot; F, plot isolé, attache du fil de la magnéto; g, rondelles isolantes; H, bougies; I, départ du fil de l'interrupteur; J, distributeur; M, magnéto (fixée directement et sans interposition de cale isolante sur le côté du moteur).

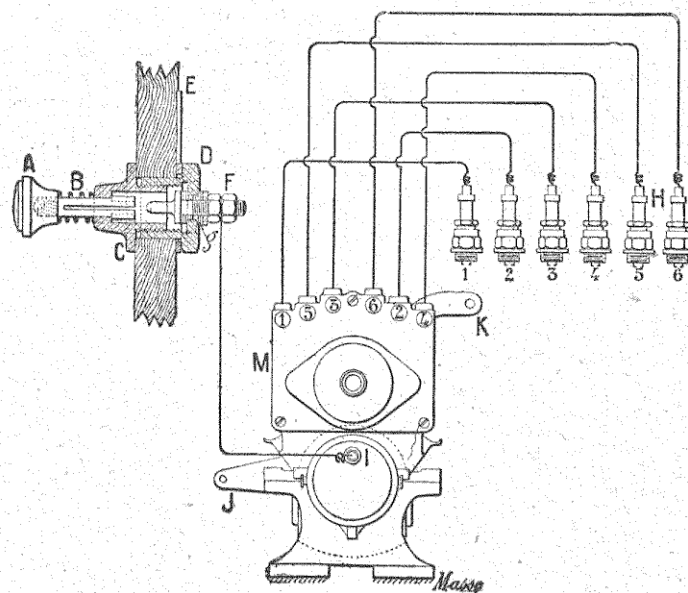


Fig. 119. — Moteurs 24 HP six cylindres.
(Voitures automobiles Panhard et Levassor.) Schéma d'allumage.

Remarquons toutefois qu'on peut déterminer l'allumage d'un moteur à deux cylindres à 0° ou à 180° avec une magnéto sans avoir besoin de distributeur.

Il suffit de remplacer la bague par une demi-bague qui frotte alternativement sur les balais B et B' (fig. 120) reliés respectivement à chacun des cylindres.

Les étincelles sont donc envoyées alternativement dans l'un et l'autre cylindre. Une seule est utilisée, car l'autre se perd dans l'échappement.

La magnéto haute tension comporte également :

Un condensateur (bandes de papier d'étain séparées par du mica) qui est placé sur l'induit et tourne avec lui;

Un parafoudre qui empêche la détérioration de la magnéto en cas de résistance anormale dans le secondaire. L'étincelle éclate entre ses pointes dès que la tension dépasse 10 000 volts.

Dans le cas où il existe un interrupteur à main, il est relié au primaire de la magnéto (fig. 118 et 119).

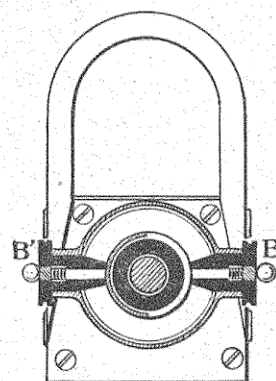


Fig. 120.

224. Description de la magnéto haute tension. — Toutes les magnétos à haute tension ne diffèrent que par des points de détail.

On trouvera ci-dessous la description de la magnéto la plus courante (fig. 121, 122, 123).

Le circuit primaire (traits gros) est lié à la masse en *a* et par les fils *b* et *c* à l'une des vis de l'interrupteur.

Cet interrupteur est formé par une pièce isolée *T* qui tourne avec l'induit et par un levier *KL* en contact avec la masse et qui porte un grain de platine *L*.

Lorsque l'interrupteur tourne, la pièce *K* heurte successivement les galets en fibre *E*, *E*₁, ce contact fait appliquer la vis *L* sur la vis *C'* et le courant passe. Lorsque le contact est rompu, le ressort *r* agissant sur le levier *K* écarte la vis *L* de la vis *C'* et produit la rupture.

A ce moment, le balai G est en contact avec la touche qui correspond au cylindre où l'allumage doit se produire.

225. Commande des magnétos. — Les magnétos sont commandées par des engrenages étudiés avec soin, qui transmettent le mouvement soit par le contact direct, soit par chaînes silencieuses.

Le calage doit être fait avec grand soin suivant les prescriptions données par les constructeurs.

Le distributeur est actionné par une roue d'engrenage commandée par une roue dentée portée par l'axe de l'induit.

Le rapport des rayons est calculé pour que le distributeur tourne à la vitesse voulue.

Pour un quatre cylindres, par exemple, la roue du distributeur devant faire un tour quand le moteur en fait deux, sera d'un diamètre double de celle portée par l'arbre de l'induit.

Les plots du distributeur doivent être reliés aux cylindres dans l'ordre des explosions.

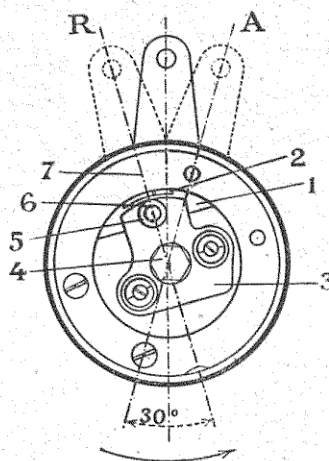


Fig. 124.

226. Caractéristiques des différentes magnétos. — Les magnétos ne diffèrent entre elles que par des points de détail.

En particulier le dispositif de rupture présente quelques particularités.

Dans les magnétos Bosch, Gibaud, etc..., les deux vis platinées tournent avec l'induit; leur écartement est, comme nous l'avons vu, produit par une came liée aux inducteurs.

Dans les magnétos Nilmélior (fig. 124 et 125), la rupture du courant est obtenue par l'intermédiaire d'un ressort en forme de disque qui tourne avec l'axe de l'induit et qui est repoussé au moment voulu par un bossage fixe.

D'une manière générale, les dispositifs de rupture tournent avec l'induit. On évite ainsi les prises de courant primaire par contact

d'un charbon avec un collecteur. Ce contact peut n'être pas parfait, ce qui augmente la résistance et diminue l'intensité du primaire.

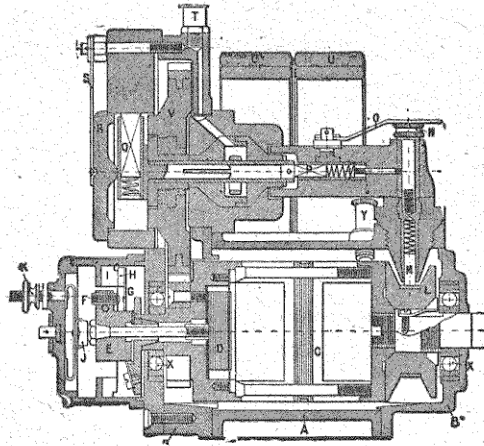


Fig. 125. — Ensemble de la magnéto Nilmélior.

A, socle; BB', flasques; C, induit; D, condensateur; E, support de vis platinée; F, vis platinée; G, ressort platiné; H, toucheau du ressort platiné; I, came en fibre; J, charbon pour l'arrêt de la magnéto; K, borne d'arrêt; L, collecteur de secondaire; M, P, Q, charbons de secondaire conduisant le courant du collecteur au distributeur; N, sa vis; O, ressort d'arrêt servant également à vérifier le fonctionnement de la magnéto; R, couvercle du distributeur; S, ressort de fixation; T, graisseur; U, aimant; V, pignon; X, roulements à billes; Y, charbon de masse.

Les isolants sont en ébonite ou en bakelite. Lorsqu'on emploie la fibre, il faut éviter l'humidité qui la déforme et la rend conductrice.

227. Avance à l'allumage. — Il est à remarquer que dans les magnétos il se produit une sorte d'avance à l'allumage automatique.

Les maxima du courant primaire sont d'autant plus intenses et par conséquent la tension du courant secondaire est d'autant plus élevée, que le moteur tourne plus vite.

Grâce à cette augmentation de tension, l'étincelle éclate plus tôt entre les pointes de la bougie.

Aussi beaucoup de magnétos ne possèdent pas de dispositif d'avance à l'allumage (magnétos à avance fixe). L'avance est donnée une fois pour toutes par un certain décalage entre l'arbre de commande et l'axe de l'induit (voyez § 232^{bis}).

Mais, pour avoir plus de précision dans l'allumage, on emploie

dans les moteurs de puissance moyenne ou élevée des dispositifs d'avance spéciaux.

a) Dispositifs commandés. — Il en existe trois types :

1° Avance par pivotement des cames de rupture autour de l'axe de l'induit ;

2° Avance par pivotement de l'inducteur (et par conséquent des cames qui lui sont liées) autour de l'axe de l'induit ;

3° Avance par décalage de l'induit par rapport au moteur.

Le premier dispositif est le plus simple et par conséquent le plus généralement adopté.

Les cames ou bossages sont montés sur une boîte qui, par l'intermédiaire d'un levier, pivote autour de l'axe de l'induit.

Il a le défaut de faire éclater l'étincelle à un moment autre que celui du maximum d'intensité.

Le deuxième procédé (fig. 127) est assez compliqué, car la masse à déplacer est grande, mais l'étincelle éclate au moment du maximum.

Enfin, le troisième est réalisé par un mécanisme comprenant une rainure hélicoïdale solidaire de l'arbre de commande de la magnéto.

L'induit qui entoure cet arbre est entraîné par la rainure et l'on conçoit qu'en déplaçant l'induit le long de l'arbre, on le fait en même temps, par suite de la présence de la rainure, pivoter autour de cet arbre.

Ce procédé permet aussi de faire éclater l'étincelle au moment des maxima. Il est également compliqué et ne se rencontre encore que rarement.

228. *b) Avance automatique à l'allumage.* — Beaucoup de constructeurs se dispensent d'employer des magnétos à dispositifs d'avance en se fondant sur ce que, comme nous l'avons vu, la magnéto donne elle-même une avance par suite de l'augmentation, avec la vitesse, de la valeur absolue du maximum d'intensité.

On n'obtient pas ainsi une précision absolue dans l'allumage, mais le conducteur est ainsi déchargé du soin de veiller à ce que l'avance ait la valeur voulue à chaque instant : un excès d'avance au départ peut, par exemple, provoquer un retour de manivelle.

On construit des magnétos à dispositifs d'avance automatiques, dans lesquels le conducteur est également déchargé du soin de

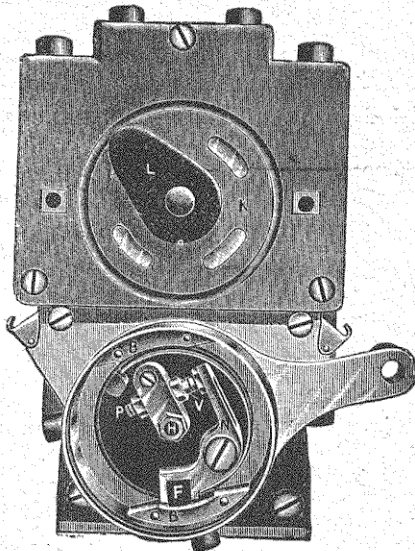


Fig. 126. — Réglage des organes de rupture de la magnéto à haute tension Lavalette et Cie.

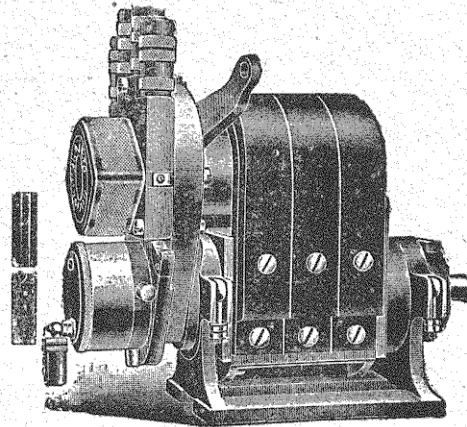


Fig. 127. — Magnéto haute tension (Lavalette et Cie), avec avance par pivotement. La masse de la magnéto pivote autour de l'axe de l'induit.

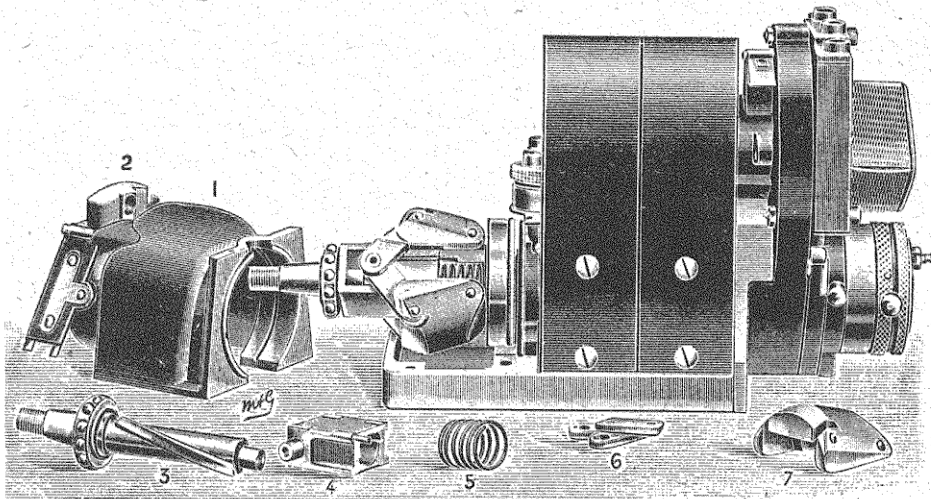


Fig. 128. — Détail des organes de la magnéto avec avance automatique (Lavalette et Cie).

1, carter du régulateur; 2, clé servant à immobiliser la magnéto et sa fonction d'allumage; 3, axe de commande; 4, écrou servant à entraîner l'induit; 5, ressort; 6, biellettes; 7, masse du régulateur.

donner l'avance qui convient à chaque allure, le dispositif d'avance fonctionnant automatiquement.

Dans le système Eiseman-Lavalette (fig. 128), le déplacement latéral de l'induit qui, par l'action de la rainure hélicoïdale, provoque son pivotement, est provoqué par un régulateur à force centrifuge monté sur l'axe de l'induit.

229. Magnétos à volets tournants.

— Dans ces magnétos, l'induit est fixe, la variation du champ magnétique étant produite par la rotation de volets V de fer doux tournant autour de l'axe de l'induit (fig. 129).

En suivant les variations du champ magnétique, il est facile de voir que les positions 1, 3, 5, 7 correspondent à des maximums d'intensité.

La magnéto donne donc quatre maximums par tour.

Employée au début à cause de la facilité d'isolement qu'elle permettait par la fixité de l'induit et par suite par la suppression de contacts tournants, elle a été peu à peu abandonnée par suite de son poids plus considérable.

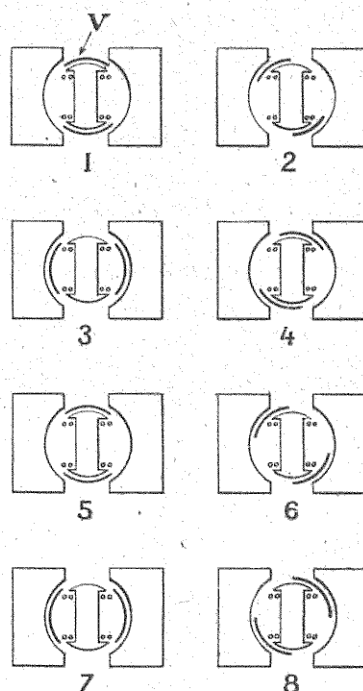


Fig. 129.

230. Comparaison des divers types d'allumage. — L'allumage par accumulateurs nécessite l'entretien d'une source d'électricité.

Le réglage des trembleurs magnétiques est une opération délicate qu'il faut refaire souvent.

Aux grandes vitesses, le trembleur peut être éloigné du contact au moment où une étincelle devrait se produire, d'où ratés ou tout au moins mauvais allumage.

Enfin, il est toujours préférable d'employer l'énergie électrique

sous forme d'une seule étincelle, mais puissante, plutôt que d'utiliser une série d'étincelles dont seule la première détermine l'allumage.

A ce point de vue, le rupteur de la magnéto et le rupteur mécanique sont supérieurs au trembleur; commandés par le moteur lui-même, ils donnent aussi plus de précision dans l'allumage.

L'allumage par magnéto basse tension et rupteurs présente une complication mécanique, fait un peu de bruit et est assez difficile à régler. L'étincelle qu'il donne est chaude mais n'agit pas par choc comme la décharge d'un transformateur.

L'allumage par magnéto à transformateur séparé ou non est jusqu'à présent considéré comme le meilleur.

231. Allumage par contact et allumage de secours. — La magnéto présente un léger désavantage lors de la mise en marche.

Les accumulateurs ont toujours de l'énergie électrique disponible à la tension voulue, alors que la magnéto exige pour en fournir une certaine vitesse de rotation.

Au temps où l'on n'avait pas encore rendu pratique le démarrage électrique des voitures, il semblait pratique d'utiliser au départ le courant d'une batterie d'accumulateurs pour produire les premières étincelles que la magnéto, faute d'une vitesse de rotation suffisante, donnait mal.

On trouve donc quelquefois sur les voitures automobiles ces deux dispositifs d'allumage. Pour simplifier, ces dispositifs emploient le plus possible les organes de la magnéto.

La combinaison la plus simple consisterait à envoyer le courant des accumulateurs dans le transformateur de la magnéto, mais dans les magnétos à transformateur bobiné sur l'induit, ce courant, qui est continu (et non pas alternatif comme le courant d'induction), serait donc à chaque demi-tour de sens opposé au courant induit et désaimanterait à la longue les aimants inducteurs.

Il est donc indispensable :

Soit de prévoir un inverseur de courant qui permet de changer à chaque demi-tour de l'induit le sens du courant envoyé dans la magnéto (dispositif Nieuport);

Soit de n'utiliser dans la magnéto que le rupteur et le distributeur, en isolant le bobinage de la magnéto, lequel est mis en court-circuit.

Il est donc nécessaire de faire subir à la magnéto certaines transformations pour qu'elle puisse servir au double allumage.

1° *Dispositif à transformateur séparé* (Eiseman-Lavalette). — Le système de double allumage utilise :

1° Le rupteur (vis platinée) du courant à basse tension de la magnéto pour ouvrir et fermer le circuit des accumulateurs ;

2° Le transformateur ;

3° Le distributeur du courant haute tension.

La vis platinée mobile reste reliée à la masse, la vis fixe qui communique avec l'extrémité du primaire est isolée.

Un commutateur spécial à trois directions permet d'envoyer à cette vis platinée soit le courant primaire de la magnéto, soit le courant des accumulateurs.

Quand le courant des accumulateurs est envoyé au rupteur, l'induit de la magnéto se trouve mis automatiquement en court-circuit et est ainsi isolé des accumulateurs.

Réciproquement, quand le commutateur fait passer le courant de la magnéto, le courant des accumulateurs cesse.

L'allumage par accumulateurs ainsi disposé ne fonctionne que si le moteur tourne. C'est un allumage de secours, utilisé soit au départ, soit au cas, extrêmement rare, où la magnéto ne produit pas de courant.

D'autres dispositifs permettent la mise en marche du moteur « au contact », c'est-à-dire sans que l'on soit obligé de tourner la manivelle de mise en route ; il faut évidemment employer alors un ou plutôt des trembleurs magnétiques, par conséquent, un distributeur de primaire et des bobines à trembleurs magnétiques.

2° *Dispositif Bosch*. — Il réalise :

L'allumage de secours ;

Le départ au contact, le moteur étant arrêté.

La magnéto doit alors être complétée :

1° Par un transformateur spécial (bobine) ;

2° Par un second rupteur (allumeur) placé au-dessous du premier, mais absolument indépendant de celui-ci et commandé par l'arbre de l'induit.

Ce rupteur remplace le trembleur habituel de l'allumage par accumulateurs.

Pour isoler le secondaire de la magnéto, on se sert d'un commutateur relié (fig. 131) :

- Par le fil 3 au secondaire de la magnéto;
- Par le fil 4 au distributeur.

Ce commutateur permet d'envoyer au distributeur soit le courant secondaire de la magnéto, soit celui de la bobine.

En même temps qu'il envoie le courant de la bobine au distribu-

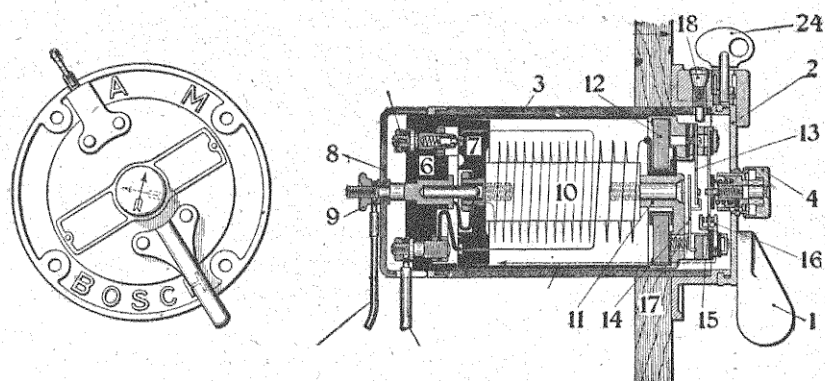


Fig. 130.

1, levier de commutation; 2, couvercle pouvant tourner; 3, enveloppe de la bobine; 4, bouton de mise en marche; 6, disque de connexions fixe; 7, plateau de commutation pouvant tourner; 8, capuchon protecteur pour les attaches des câbles; 9, écrou moleté; 10, noyau en fer; 11, plaque portant le dispositif de mise en marche et le condensateur; 12, condensateur; 13, ressort de contact; 14, trembleur; 15, 16, rupteur auxiliaire; 17, ressort de trembleur; 18, vis d'arrêt limitant le mouvement de commutation; 24, clef de sûreté.

teur, le commutateur met le primaire de la magnéto en court-circuit par l'intermédiaire du fil 2 et de la masse.

Le circuit primaire des accumulateurs comprend (fig. 130, 131 et 132) :

- Le fil 5;
- L'enroulement primaire;
- Le fil 4;
- Le deuxième rupteur de la magnéto;
- Le fil de masse 6 de la bobine;
- Le fil de masse 8 des accumulateurs.

En outre, pour le départ au contact, la bobine comprend : un trembleur magnétique 14, et un trembleur mécanique 16.

Deux cas peuvent, en effet, se présenter :

Lorsqu'un moteur à quatre cylindres s'arrête, les quatre pistons

occupent une position moyenne et les quatre manivelles se trouvent dans un même plan horizontal.

Si on a provoqué l'arrêt en coupant le courant, les cylindres contiennent du mélange explosif qu'ils aspirent dans les derniers tours.

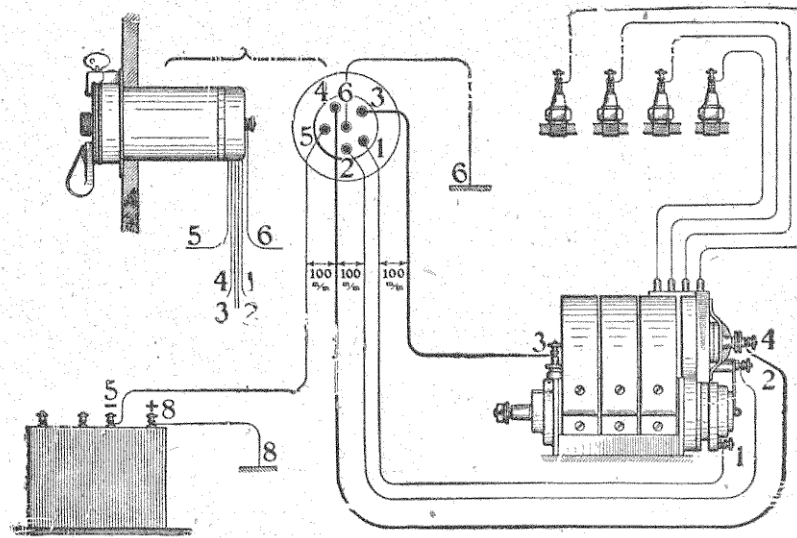


Fig. 131. — Schéma des connexions du « double allumage Bosch » (1 bougie par cylindre).

Câbles doubles de la magnéto.

- | | | |
|----------------|---|---|
| Basse tension. | { | 1. Câble à faible isolement allant au rupteur de la batterie. |
| | { | 2. — — — — — allant à la borne primaire de la magnéto. |
| Haute tension. | { | 3. Gros câble allant au porte-balai de prise de courant. |
| | { | 4. — — — — — du distributeur. |

Câbles séparés.

- | | | |
|----------------|---|---|
| Basse tension. | { | 5. Câble allant à la borne négative (—) 5 de la batterie. |
| | { | 6. Fil de masse de la bobine. |
| | { | 8. Fil de masse de la batterie (borne +). |

Parmi les cylindres, l'un est à la période de détente; si l'on y fait éclater une étincelle, le moteur partira.

Dans le cas que nous examinons (arbre horizontal), le rupteur auxiliaire a ses vis écartées et le courant primaire des accumulateurs ne passe pas.

En appuyant sur le bouton 4 de la bobine, on établit le courant primaire, le trembleur magnétique 14 vibre et une série d'étincelles jaillit dans le cylindre voulu.

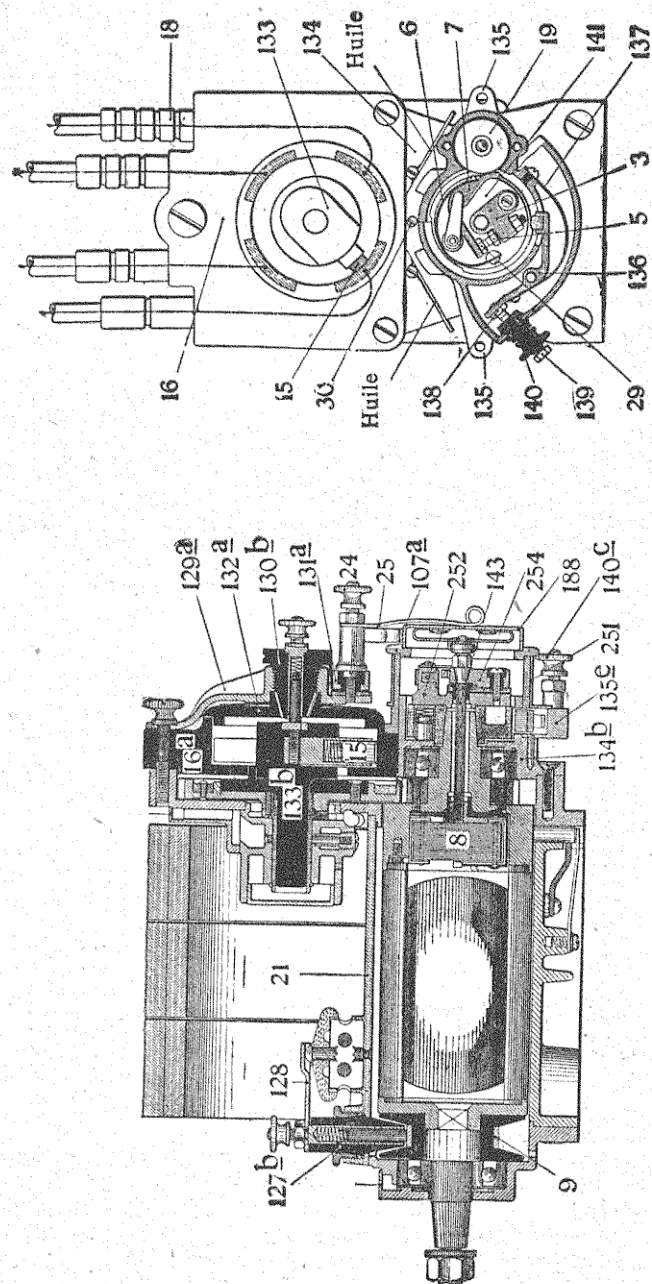


Fig. 132. — Dispositif Bosch pour le départ au contact (coupe longitudinale).

Pourtant, il peut arriver (second cas) que l'arbre ne soit pas horizontal dans sa position d'arrêt et que les vis platinées du rupteur soient au contact.

Dans ce cas le courant des accumulateurs passe dans le primaire de la bobine, mais le trembleur maintenu par un ressort ne peut vibrer.

En appuyant sur le bouton 4, on manœuvre le trembleur mécanique 16, qui produit l'étincelle demandée.

Les dispositifs de départ « au contact » sont maintenant abandonnés. Nos lecteurs trouveront au livre II des exemples de dispositifs de démarrage automatique.

232. Allumage jumelé. — On appelle ainsi un dispositif qui permet de faire éclater deux étincelles dans chaque cylindre. On accélère ainsi beaucoup l'inflammation du mélange.

L'allumage jumelé est obtenu par une magnéto qui comporte un seul enroulement primaire et deux enroulements secondaires.

232^{bis}. Commande de la magnéto. — La magnéto est en général commandée par l'arbre de distribution, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une chaîne silencieuse (de Dion) ou d'un pignon hélicoïdal (Renault).

Dans tous les cas, l'arbre de commande de la magnéto pouvant ne pas être rigoureusement en face de l'axe de l'induit, on intercale entre eux un accouplement non rigide (joint de Oldham ou accouplement Bosch).

Joint de Oldham. — Il se compose d'une noix dans laquelle pénètrent de chaque côté et faisant entre elles un angle de 90°, deux lames épaisses, l'une portée par l'arbre de commande, l'autre par l'arbre de l'induit qui peuvent ainsi ne pas être exactement dans le prolongement l'un de l'autre.

Accouplement Bosch. — L'un des arbres se termine par un tambour présentant deux encoches à l'extrémité d'un même diamètre, l'autre par une chape portant deux tenons formés par des petits ressorts qui pénètrent dans les encoches ; le deuxième dispositif a sur le premier l'avantage d'être silencieux.

CHAPITRE IX

REFROIDISSEMENT. — ÉCHAPPEMENT.

1. REFROIDISSEMENT PAR L'AIR.
2. REFROIDISSEMENT PAR L'EAU. — Dispositifs usuels. — Pompe. — Thermo-siphon. — Radiateurs. — Réservoirs-radiateurs. — Radiateurs à tubes, nid d'abeilles. — Ventilateurs. — Capots étanches. — Divers types de pompes.
3. ÉCHAPPEMENT. — Silencieux. — Échappement libre. — Nature des gaz brûlés.

233. Nécessité du refroidissement. — Nous avons vu qu'il était nécessaire de refroidir énergiquement le moteur. Sans cette précaution, l'huile de graissage brûlerait, le frottement du piston contre le cylindre deviendrait très grand et le rendement organique du moteur serait très fortement diminué. En outre l'allumage serait provoqué à contretemps par l'élévation de température du cylindre.

1. — REFROIDISSEMENT PAR L'AIR

234. Principe. — Le refroidissement par l'air est réservé en Europe aux moteurs de faible puissance et, plus particulièrement, aux moteurs de motocyclettes. Il consiste à utiliser pour le refroidissement l'air extérieur qui vient frapper le moteur lors du déplacement du véhicule.

Afin d'augmenter l'action de refroidissement de l'air, le cylindre des motocycles, ainsi que la soupape d'échappement, sont garnis d'un grand nombre de larges ailettes. La chaleur se propage dans ces ailettes et se disperse dans l'air en contact avec elle.

Ainsi conçu, le système de refroidissement ne peut être utilisé que sur des véhicules se déplaçant assez vite et dont le moteur n'est pas

enfermé dans un dispositif le mettant à l'abri de l'air. Il exige en plus que la paroi du cylindre soit assez mince. Il est donc insuffisant dès que la puissance dépasse cinq chevaux.

235. Air-cooling. — Toutefois, comme le refroidissement par l'air a l'avantage :

1° De dispenser l'automobiliste d'emporter et de renouveler l'eau nécessaire aux autres systèmes de refroidissement ⁽¹⁾;

2° De ne nécessiter aucun dispositif mécanique empruntant de la force au moteur;

On a essayé de réaliser le refroidissement par l'air de moteurs à puissance élevée.

Dans ce cas, on ne se contente pas de munir les cylindres d'ailettes assurant une surface de refroidissement plus considérable, on dispose une canalisation spécialement munie d'un ventilateur ⁽²⁾ et qui force l'air à circuler autour des divers cylindres. On obtient ainsi un refroidissement tel, qu'il permet le fonctionnement régulier de moteurs dont la puissance atteint 50 chevaux (refroidissement par l'air-cooling).

On peut d'ailleurs diminuer la température des parois du cylindre et notamment celle de la soupape d'échappement, en disposant sur le cylindre un échappement supplémentaire se produisant à la fin de la course motrice; dans ces conditions, l'évacuation des gaz chauds qui se trouvent dans le cylindre se fait beaucoup plus rapidement, une partie de ces gaz se répandant dans l'atmosphère sans échauffer le cylindre et la soupape d'échappement.

Ce dispositif, qui nécessite des commandes un peu compliquées, n'est pas appliqué sur les véhicules automobiles de type courant.

On ne rencontre en France le refroidissement par l'air que sur les moteurs d'aviation, où toute diminution de poids, même la plus minime est appréciable. Il se produit soit directement par contact extérieur (Gnome), soit par courant forcé avec ventilateur (Renault).

(1) Avantage bien faible, vu la petite quantité d'eau nécessaire et le temps pendant lequel la même eau peut servir.

(2) Ce ventilateur demande évidemment de la force au moteur, mais moins que le système de refroidissement par pompe (§ 227).

2. — REFROIDISSEMENT PAR L'EAU

236. Dispositifs usuels. — La régularité, le fonctionnement sûr du refroidissement par l'eau à toutes les allures l'ont fait adopter par tous les constructeurs français. Le premier procédé de refroidissement par l'eau consistait à employer la chaleur prise au moteur à vaporiser de l'eau qu'un réservoir maintenait à niveau constant dans une chemise entourant le cylindre.

La vapeur était condensée dans un radiateur analogue à ceux que nous décrirons (§ 241).

Actuellement, on établit autour du moteur une circulation d'eau qui enlève la chaleur au fur et à mesure qu'elle traverse la paroi du cylindre. Notons à ce sujet que la culasse et les soupapes d'échappement étant les parties qui chauffent le plus, le refroidissement devra en être particulièrement soigné.

L'eau vient d'un réservoir disposé sur la voiture, circule dans une chemise faisant corps avec le cylindre ou rapportée (comme nous l'avons vu précédemment) et se rend ensuite dans un radiateur où elle perd la chaleur prise au moteur. La même eau peut donc servir très longtemps, il suffit de remplacer de temps en temps la faible quantité d'eau qui s'évapore. La circulation est entretenue par deux procédés :

- 1° Par thermosiphon;
- 2° A l'aide d'une pompe.

237. Refroidissement par thermosiphon. — Ce procédé s'appuie sur ce que la densité de l'eau chaude est inférieure à celle de l'eau froide.

Le dispositif de refroidissement par thermosiphon comprend en principe un réservoir d'eau dont la partie inférieure communique avec le bas des cylindres et la partie supérieure avec le haut de ces cylindres.

L'eau chauffée au contact des cylindres s'élève dans la tuyauterie supérieure et gagne le haut du réservoir, tandis que l'eau froide qui se trouve au bas de celui-ci se rend au cylindre.

238. Refroidissement par pompe. — Le second procédé utilise une pompe foulante qui détermine le mouvement de l'eau dans la tuyauterie de circulation.

239. Disposition générale de la tuyauterie dans le refroidissement par pompe. — Au début, quelques constructeurs, frappés par ce fait que la soupape d'échappement s'échauffait beaucoup, avaient imaginé de faire arriver l'eau froide autour de cette soupape et de l'envoyer ensuite autour du cylindre.

Ce procédé a l'inconvénient de mettre le cylindre en contact avec de l'eau déjà chaude et si la soupape est bien refroidie, le cylindre l'est mal, sans compter que les différences de dilatation provoquées par l'arrivée d'eau froide sur une paroi très chaude peuvent amener des ruptures et que l'on risque de provoquer la formation de poches de vapeur.

Il est préférable de faire arriver l'eau froide dans la partie du cylindre la moins sujette à l'échauffement, c'est-à-dire la plus éloignée du point d'inflammation. L'eau chemine ensuite le long du cylindre en s'échauffant progressivement.

On obtient ainsi un refroidissement méthodique, l'eau étant dans son parcours toujours en contact avec une paroi dont la température est plus élevée que la sienne propre.

Quel que soit le système de circulation adopté, l'emploi de l'eau comme agent de refroidissement abaisse à moins de 100° la température de la paroi extrême du cylindre. Avec une circulation active et un bon radiateur (voir ci-dessous), cette température se fixe aux environs de 70°.

On n'a pas intérêt, comme nous l'avons vu dans les premiers chapitres, à abaisser cette température.

240. Radiateurs. — Le rôle du radiateur est de refroidir l'eau qui s'est échauffée au contact du moteur. Dans cet appareil la chaleur emportée par l'eau se disperse dans l'air, par conductibilité. Plus la différence de température initiale entre l'air et l'eau est grande, plus la quantité de chaleur emportée par un même volume d'air est considérable; d'autre part cette quantité de chaleur est d'autant plus grande que les surfaces de contact entre l'air et les tubes qui contiennent l'eau sont mieux établies.

Un bon radiateur doit présenter les qualités suivantes :

Il doit pouvoir être traversé facilement par l'air; d'autre part, l'eau doit pouvoir y circuler en rencontrant le minimum de résistance et en offrant à l'air le maximum de contact; il doit être robuste, afin de ne pas être affecté par les trépidations et les chocs, enfin, il doit donner le meilleur rendement possible et par conséquent posséder une grande capacité sous un faible volume.

Les radiateurs actuellement utilisés peuvent se diviser en deux classes : les radiateurs tubulaires dans lesquels l'eau circule dans des tubes refroidis par l'air et les radiateurs à nid d'abeilles dans lesquels l'air passe à l'intérieur de tubes horizontaux entre lesquels l'eau de refroidissement circule de haut en bas. Les uns et les autres peuvent être à réservoir séparé ou à réservoir faisant corps avec le radiateur. *Ces derniers sont actuellement seuls employés.*

241. Radiateurs tubulaires. — Les radiateurs tubulaires sont composés essentiellement de tubes en fer disposés soit verticalement, soit horizontalement.

Pour augmenter la surface refroidissante, ces tubes sont garnis d'ailettes sur lesquelles se répand la chaleur qui se disperse ainsi plus facilement dans l'air (fig. 134).

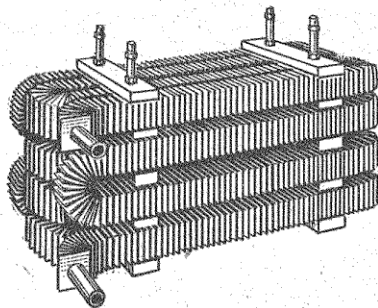


Fig. 134.

Le choix de la forme des ailettes, de leur épaisseur et du métal qui les constitue n'est pas indifférent.

D'une part, les différents métaux n'ont pas même conductibilité (cuivre 77, fer 12, aluminium 21); d'autre part, la forme de l'ailette (lisse ou ondulée, plate ou épaisse), influe sur la section de passage de l'air. On noircit souvent les ailettes

en tôle avec du noir de fumée pour augmenter la dispersion de la chaleur.

Dans les anciens systèmes de refroidissement à réservoir séparé, le radiateur était constitué par une série de tubes à ailettes disposés en général horizontalement, en serpent.

242. Radiateurs cloisonnés. — On a ensuite construit des radiateurs séparés, dit « cloisonnés » ; ils se composent de 1, 2, 3 ou 4 rangs de tuyaux à ailettes disposés en serpentín.

Ces tuyaux sont séparés les uns des autres par des *cloisons* en tôle sur lesquelles se soudent les ailettes ; une enveloppe en tôle et un cadre en laiton entourent le tout.

243. Réservoirs-radiateurs tubulaires. — Tous les radiateurs qu'on utilise aujourd'hui comprennent à la fois un réservoir d'eau et un refroidisseur formant corps. Ces radiateurs tubulaires sont à tuyaux horizontaux ou verticaux. Lorsqu'ils sont horizontaux ils sont formés d'un réservoir en cuivre jaune enveloppant des tuyaux à ailettes isolées ou reliées entre elles par des cloisons.

Lorsqu'ils sont verticaux, les tubes réunissent le réservoir placé à la partie supérieure à un collecteur placé à la partie inférieure.

La circulation dans le radiateur à tubes horizontaux se fait comme il est indiqué sur la figure 135, représentant la vue de face de l'un de ces radiateurs. Ce système ne peut être employé que lorsque la circulation est entretenue par une pompe.

La figure 141 représente un radiateur à tubes verticaux.

Les tubes sont, en général, munis d'ailettes qui sont embouties autour des tubes ou simplement soudées. Les premières, par suite des trépidations, peuvent jouer sur le tube si leur contact avec lui n'est pas bien assuré ; les ailettes soudées n'ont pas cet inconvénient.

Mais le montage des premières est plus facile et dès que l'on est parvenu à les faire tenir solidement sur les tubes⁽¹⁾, ce type a reçu la préférence.

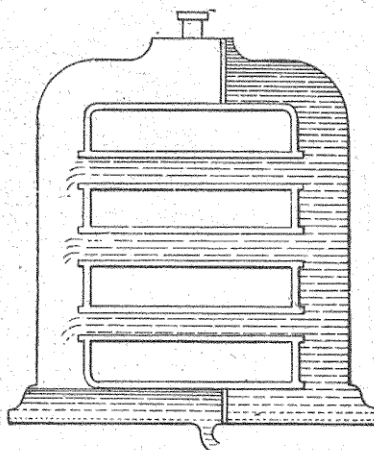


Fig. 135.

(1) Les ailettes, découpées à leur forme, sont percées d'un trou de diamètre égal à celui du tube à eau, à l'aide d'un poinçon qui refoule le métal en formant un petit

Il existe aussi des radiateurs tubulaires sans ailettes. Ils sont employés dans le cas où la surface de refroidissement donnée par les tubes seuls est suffisante.

Dans les voitures récentes, on trouve aussi des radiateurs tubulaires ayant l'aspect extérieur des radiateurs à nid d'abeilles, ces tubes sont constitués à l'aide d'une tôle de laiton ondulée très mince qui porte des ailettes.

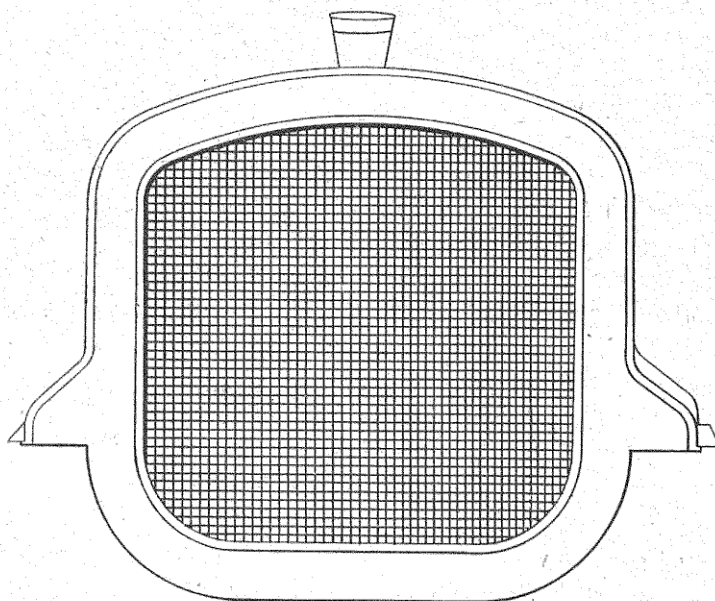


Fig. 136.

244. Radiateurs à nid d'abeilles. — Les radiateurs à nid d'abeilles (fig. 136) sont employés avec un réservoir formant corps. Ils sont constitués par un très grand nombre de tubes de section carrée ou triangulaire. La longueur de ces tubes varie entre 8 et 12 mm. (fig. 137).

Les extrémités de ces tubes sont légèrement épanouies et sont

tube. Les ailettes sont ensuite enfilées sur le tube à eau, chacune d'elles reposant sur le petit tube formé sur la précédente par le métal refoulé.

On remplit alors les tubes du radiateur, d'eau que l'on comprime suffisamment pour obtenir une augmentation de diamètre de ces tubes et par conséquent le serrage énergétique des ailettes.

réunies les unes contre les autres de telle manière qu'entre les parois de deux tubes voisins, il existe un vide d'environ 1 mm. dans lequel passe l'eau de refroidissement.

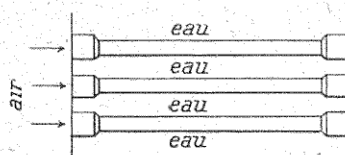


Fig. 137.

Le faisceau tubulaire ainsi constitué établit la communication entre la partie haute A du radiateur et sa partie basse B (fig. 138).

Le radiateur à nid d'abeilles présente l'avantage d'être compact et d'avoir un très bon rendement. Il permet d'employer un faible volume d'eau (1 demi-litre environ par cheval).

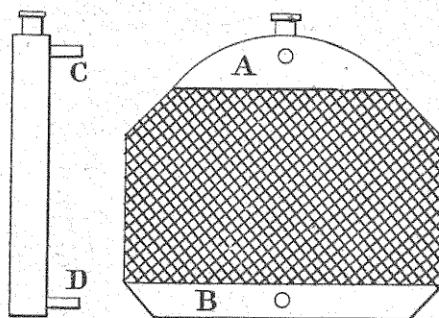


Fig. 138.

Par contre, il présente l'inconvénient de nécessiter un très grand nombre de soudures, puisque chacun des tubes doit être soudé à ses deux extrémités; de plus, la section de passage de l'eau étant faible, l'entartrage est à craindre lorsqu'on emploie des eaux quelconques.

Pour éviter la soudure de chaque tube, on a réuni quelquefois en faisceau tous les tubes qui constituent le radiateur. Ce faisceau est soudé à chaque bout au moyen d'un alliage spécial à base de plomb, ayant un coefficient de dilatation égal à celui du laiton et possédant une certaine élasticité.

On a également fabriqué des radiateurs nid d'abeilles à l'aide de

tubes sertis dans la plaque avant et dans la plaque arrière à l'aide d'un petit appareil appelé dudgeon.

La fragilité et le prix plus élevé des radiateurs nid d'abeilles leur font très souvent préférer les radiateurs tubulaires.

245. Circulation de l'eau. — La circulation d'eau est disposée comme suit :

1° *Circulation avec pompe et réservoir séparé.* — L'eau s'écoule du réservoir à la pompe (fig. 139), de la pompe au refroidisseur où

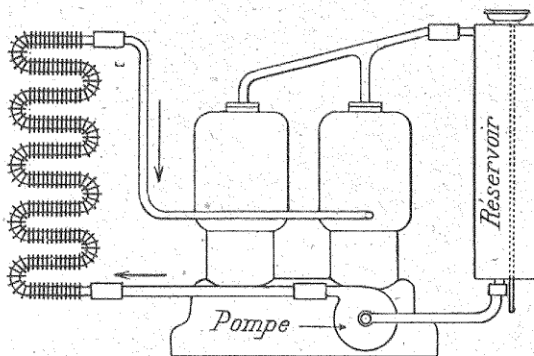


Fig. 139.

elle entre par le bas, elle en sort par le haut pour se rendre au bas du moteur et sort par le haut du moteur pour gagner la partie supérieure du réservoir.

On trouve ainsi des dispositifs dans lesquels l'eau suit les chemins suivants :

Pompe-moteur-réservoir-radiateur.

Ces dispositifs avec réservoir séparé du radiateur sont actuellement abandonnés.

2° *Circulation avec pompe et réservoir-radiateur.* — En général, l'eau va du bas du radiateur à la pompe (fig. 140), de la pompe à la partie inférieure des cylindres, puis à la partie supérieure et gagne ensuite le haut du réservoir.

3° *Circulation par thermosiphon avec réservoir-radiateur.* — Les radiateurs horizontaux ne s'emploient le plus souvent qu'avec des moteurs possédant une pompe de circulation. Lorsque le refroidis-

sement se fait par thermosiphon, on emploie des radiateurs à tubes verticaux.

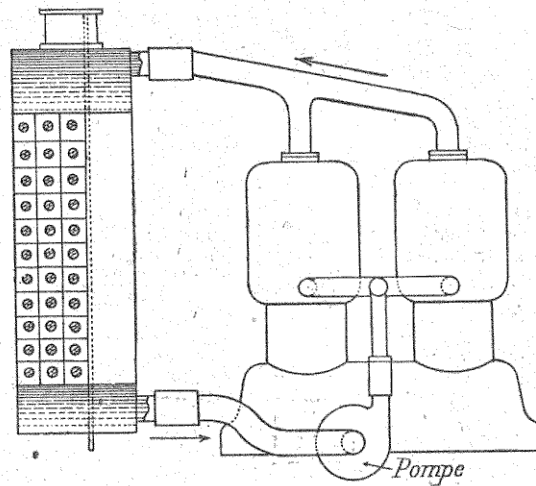


Fig. 140.

Le radiateur se compose d'un certain nombre de tuyaux à ailettes verticales, ces tuyaux sont brasés sur le réservoir du haut

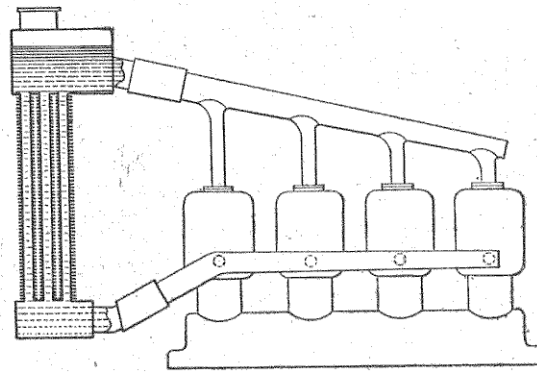


Fig. 141.

et le réservoir du bas qu'ils font communiquer. L'eau passe du bas du radiateur à la partie inférieure des cylindres, puis à la partie supérieure de ceux-ci, d'où elle s'élève jusqu'à la partie supérieure du réservoir (fig. 141).

Pour que ce système de refroidissement fonctionne normalement, les tubulures des appareils doivent être assez larges et les canalisations doivent avoir des sections correspondant aux tubulures.

Enfin, il faut, autant que possible, éviter les coudes brusques dans la circulation de l'eau et disposer le radiateur de telle manière que son centre soit à peu près au niveau de la partie supérieure des cylindres du moteur.

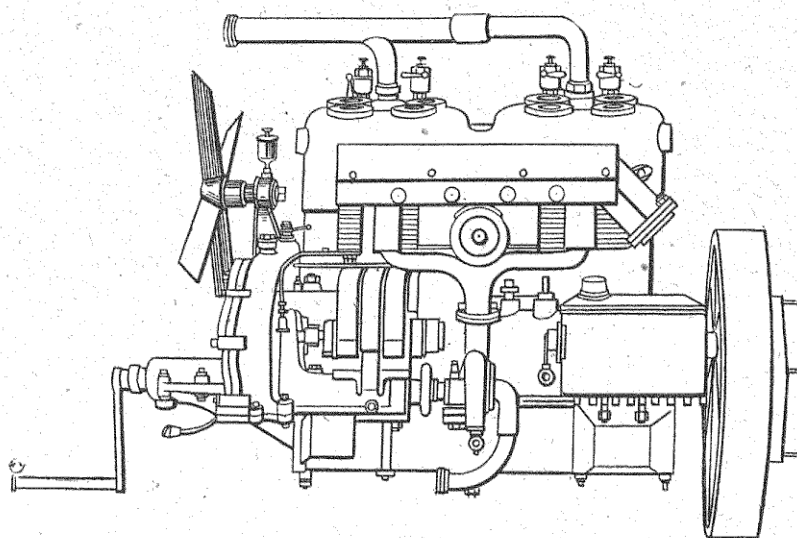


Fig. 142.

246. Fixation des radiateurs. — Au début, les radiateurs tubulaires ou à nid d'abeilles étaient fixés sur les longerons au moyen de pattes rivées sur le radiateur et boulonnées sur le longeron avec, dans certains cas, interpositions de plaques de caoutchouc.

Mais les déformations du châssis causées par les trépidations peuvent amener des fuites et l'on a remplacé souvent le mode de fixation rigide par une articulation déformable réalisant l'indépendance du châssis et du radiateur.

247. Ventilateurs. — Les radiateurs sont en général placés à l'avant des voitures, de telle manière que le courant d'air produit par le déplacement de la voiture traverse directement le radiateur.

On adjoint même au radiateur, pour augmenter l'action de ce courant d'air, un petit ventilateur en général hélicoïdal commandé par le moteur (fig. 142).

Ce ventilateur augmente l'appel d'air et produit le refroidissement des tubes, quelle que soit la vitesse de la voiture.

Il tourne à une vitesse de 1 500 tours environ et consomme une quantité de travail qui n'est pas négligeable.

La commande du ventilateur est réalisée, en général, à l'aide d'une courroie. Lorsqu'elle est réalisée par une chaîne, il faut prévoir entre le pignon de commande monté sur l'arbre du ventilateur et cet arbre, un petit embrayage progressif qui permette une certaine élasticité dans la commande.

Sans cette précaution, l'inertie du ventilateur amènerait la rupture de la commande au départ ou à l'arrêt du moteur.

Le ventilateur est placé le plus souvent derrière le radiateur et le plus près possible de celui-ci.

Dans certaines voitures on dispose pour faciliter la sortie de l'air aspiré, un second ventilateur constitué par le volant⁽¹⁾, soit que les bras de celui-ci aient une forme hélicoïdale qui détermine un appel d'air (fig. 143), soit que l'on garnisse la surface extérieure du volant d'un certain nombre d'ailes qui forment ventilateur.

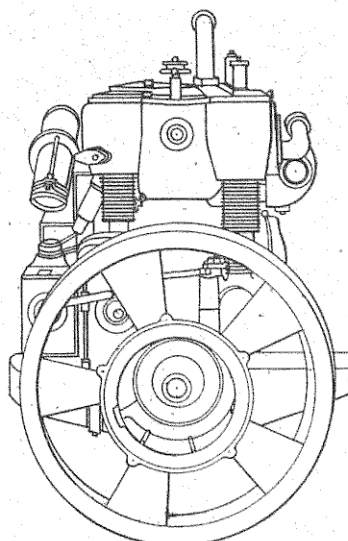


Fig. 143.

248. Capots étanches. — On augmente la quantité d'air passant au travers du radiateur en enfermant le moteur dans un capot. L'air aspiré par le ventilateur ne peut alors pénétrer dans le capot que

(1) Il est essentiel pour obtenir un bon refroidissement, que tout l'air aspiré par le ventilateur et chauffé par son passage dans le radiateur soit rejeté à l'extérieur. Comme cet air ne peut partir que par le dessous de la voiture qui est encombré d'organes divers, il y a intérêt à en activer la circulation.

par les tubes du radiateur. On obtient ainsi le maximum de refroidissement.

Avec un capot étanche on peut se contenter d'un seul ventilateur formé par le volant. La figure 144 donne un schéma de l'installation d'une circulation d'eau de ce type. En S se trouve la pompe qui provoque la circulation d'eau. Celle-ci se fait dans le sens indiqué par les flèches, C est le tablier de la voiture, B le volant du

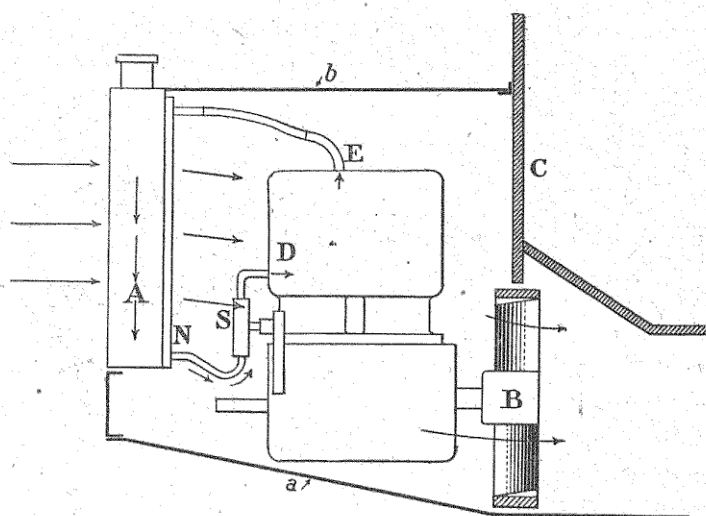


Fig. 144.

moteur dont les bras forment ventilateur, *b* le dessus du capot qui s'enlève pour donner accès au mécanisme et *a* la partie inférieure de ce capot qui est fixe.

Dans ce système, pour que la ventilation soit effective, il faut que le capot soit abaissé afin que l'air ne puisse arriver au ventilateur qu'en passant par le radiateur. Dès que le capot est relevé, l'air est aspiré directement sans passer à travers le radiateur et par conséquent le refroidissement ne se produit plus. Si donc on fait tourner le moteur à l'arrêt pour une cause quelconque, il faut autant que possible ne pas laisser trop longtemps le capot relevé.

Refroidissement Renault. — Dans les moteurs Renault, le radiateur est disposé au-dessus du volant. Le capot forme fermeture

hermétique, l'air passe au travers des tubes de côté et revient à l'intérieur du capot par les tubes du milieu (fig. 145 et 146).

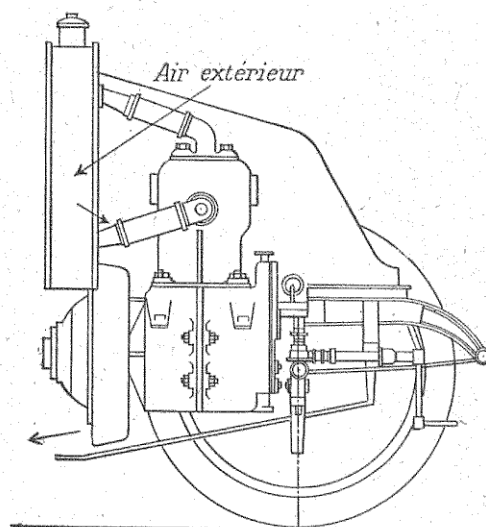


Fig. 145.

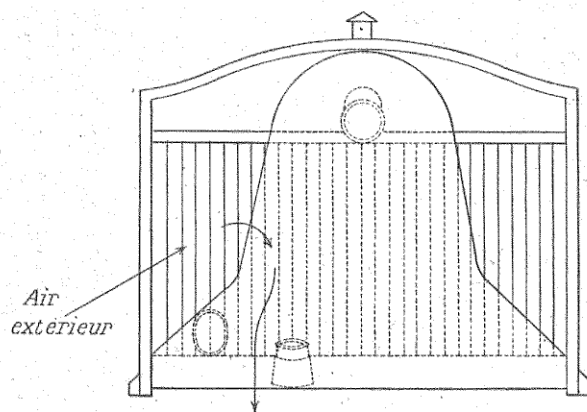


Fig. 146.

249. Radiateur à ventilateur centrifuge. — Un certain nombre de moteurs pour voitures de poids lourd sont munis d'un radiateur dont les tubes sont disposés *circulairement* autour d'un ventilateur centrifuge (fig. 147).

Cette disposition rend le radiateur placé à l'avant du véhicule moins vulnérable aux coups.

250. Soins à donner au radiateur. — Contre le froid. — D'une manière générale, lorsque le temps est très froid, il faut avoir soin

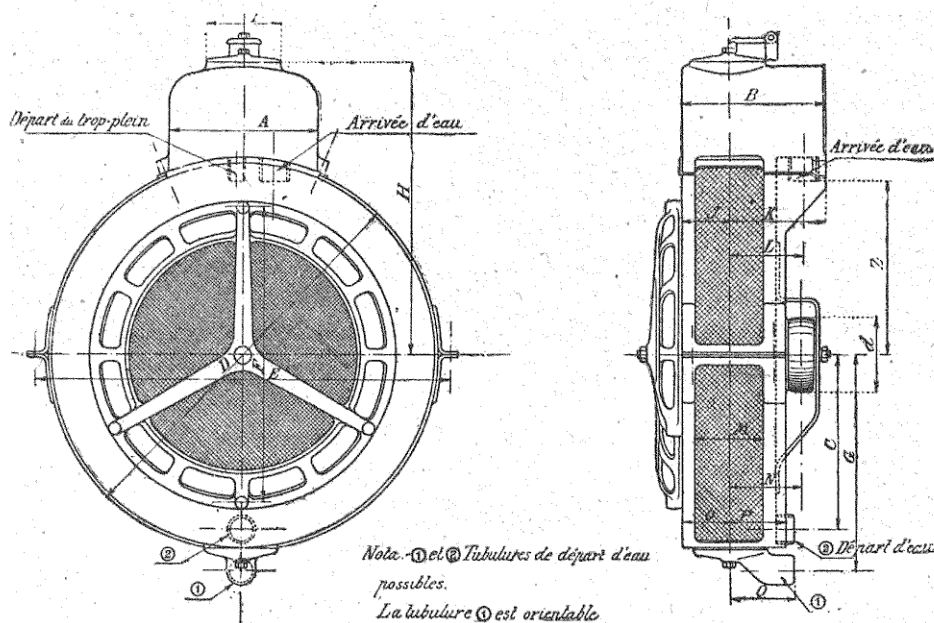


Fig. 147. — Refroidisseur Solex à réservoir extérieur des moteurs pour voitures de poids lourd.

de vider chaque soir l'eau de refroidissement pour éviter la congélation de l'eau soit dans les tubes, soit dans la pompe et la tuyauterie, soit autour des cylindres et les éclatements qui en sont la conséquence. Pour que toute l'eau soit réellement vidée⁽¹⁾, on fera tourner le moteur pendant une ou deux minutes, après vidange faite, afin de vaporiser l'eau qui ne sera pas partie.

De même, dans les moteurs à ventilateur unique porté par le volant, il sera bon, lorsque l'on procède par temps froid au remplis-

(1) En particulier l'eau qui séjourne dans la pompe, laquelle est placée au point le plus bas de la circulation. Alors même que la congélation ne produirait pas l'éclatement de cette pompe, elle calerait celle-ci lors de la mise en marche du moteur, empêchant la circulation de s'établir et provoquant même quelquefois la rupture de la commande.

sage du réservoir avec de l'eau froide, de faire tourner le moteur pendant une dizaine de tours à l'arrêt, le capot relevé, de façon à ce que la ventilation ne puisse provoquer la congélation de l'eau contenue dans les petits tubes et par conséquent l'éclatement de ces derniers. Cette précaution ne peut naturellement pas être prise dans les moteurs dont le ventilateur est placé derrière le radiateur, le refroidissement de l'eau s'opérant alors même que le capot est ouvert. On remplira donc le réservoir avec de l'eau tiède.

Pour éviter d'avoir à vidanger l'eau chaque soir et à remplir les réservoirs chaque matin, il peut être avantageux, dans le cas où les véhicules automobiles assurent un service journalier, d'employer au lieu d'eau pure, un mélange dont le point de congélation est inférieur à 0° ; le meilleur mélange est constitué par de l'eau contenant une certaine proportion de glycérine. Cette proportion est d'environ 20 p. 100 pour les froids que l'on subit ordinairement en France. La glycérine encrasse un peu les cylindres et attaque les joints de caoutchouc. Il faut donc en arrêter l'emploi aussitôt que cela n'est plus indispensable.

Contre l'entartrage. — Les eaux que l'on trouve habituellement contiennent du carbonate ou du sulfate de chaux qui se déposent sur les parois des cylindres et diminuent le refroidissement, leur conductibilité étant inférieure à celle du métal.

On peut enlever le carbonate de chaux à l'aide d'une solution étendue d'acide chlorhydrique.

Il faut ensuite laver abondamment pour éviter que l'acide attaque les organes dans lesquels se fait la circulation d'eau.

On ne connaît aucun moyen d'enlever le sulfate de chaux.

Les divers systèmes de radiateurs que nous avons étudiés exigent très peu d'eau pour le fonctionnement. Avec une vingtaine de litres d'eau, on peut, en général, remplir le radiateur et les enveloppes des cylindres d'un moteur de force moyenne. La dépense d'eau est très faible.

251. Comparaison entre le thermosiphon et la pompe. — La circulation par thermosiphon est peu active, 15 cm. par seconde. Elle se fait par une série de soubresauts et, pour cette raison, la tuyauterie devra être extrêmement simplifiée. Les coudes devront être réduits au minimum.

Mais le thermosiphon s'installe facilement ; il ne nécessite aucun entretien et fonctionne toujours bien, si on a eu le soin de prévoir des conduites suffisamment larges.

L'emploi de réservoirs-radiateurs de capacité assez considérable pour former volant, disposés judicieusement par rapport aux cylindres, et de tuyauteries bien calculées, permet d'avoir un très bon et très sûr refroidissement par thermosiphon.

La pompe présente les avantages suivants :

Grande vitesse de circulation (1 m. par seconde) ;

Installation facile sur tous les types de voiture, puisque vu la pression que peut donner la pompe, l'influence des coudes ou des dénivellations sont sans importance sur la circulation d'eau.

Pression considérable qui peut vaincre les résistances passagères.

Par contre, elle a les inconvénients suivants :

Nécessité d'un mécanisme de commande ;

Nécessité d'un entretien continu ;

Possibilité d'arrêt, qui arrête la circulation d'eau ;

Elle absorbe du travail (quelquefois un cheval ou un et demi).

252. Pompe de circulation. — Une bonne pompe doit être :

Robuste ;

Simple ;

Facilement commandée ;

Pratiquement inusable.

Elle doit fonctionner même aux plus faibles vitesses et la pression aux allures vives doit être assez considérable pour vaincre les résistances que présente le circuit que l'eau doit suivre, résistances qui, non seulement sont proportionnelles à la vitesse, mais varient même suivant une puissance de cette vitesse.

253. Pompe centrifuge. — On utilise surtout en automobile la pompe centrifuge qui se compose d'un tambour dans lequel tourne une roue à aubes (fig. 148). L'eau arrive par le centre du tambour et sort par une ouverture pratiquée sur la périphérie.

Le mouvement de la roue communiqué à la masse d'eau un mouvement de rotation. Sous l'influence de la force centrifuge, cette eau se trouve chassée vers les parois du tambour et comme cette force centrifuge est proportionnelle à la distance qui sépare

chaque molécule d'eau du centre et au carré de la vitesse angulaire, l'eau se trouve ainsi chassée de plus en plus vite. Le mouvement des aubes produit donc une aspiration par le centre du tambour et un refoulement par l'orifice placé sur le pourtour.

Les roues à aubes peuvent être remplacées par de simples disques à nervures rayonnantes.

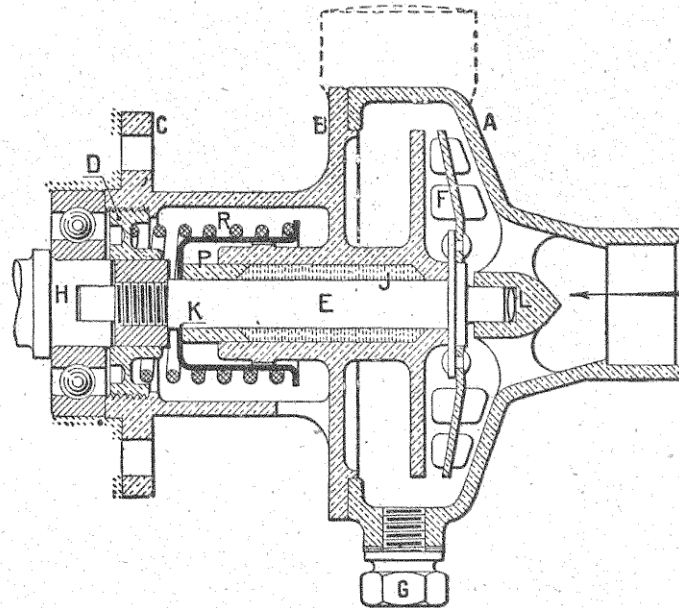


Fig. 148. — Pompe centrifuge (voitures automobiles Panhard et Levassor).

A, corps de pompe; B, couvercle du corps de pompe; C, fixation de la pompe sur le carter; D, écrou du ressort; E, arbre de pompe; F, roue à ailettes; G, bouchon de vidange; H, arbre de commande de pompe; J, garniture de spyro; K, butée de ressort; L, grain de butée; P, presse-étoupe; R, ressort de presse-étoupe.

Une pompe centrifuge peut être à la fois aspirante et foulante; mais, d'autre part, elle ne peut fonctionner que lorsque la roue à aubes est dans l'eau. Elle doit donc être amorcée.

Pour faciliter cette opération, on dispose toujours la pompe à la partie la plus basse de la circulation afin que l'eau s'y rende d'elle-même.

Cette disposition permet ainsi l'amorçage automatique de la pompe, lorsque celle-ci s'est trouvée désamorçée par suite de l'introduction d'air.

Les pompes centrifuges ont une vitesse critique au-dessous de laquelle elles ne fonctionnent plus. Pour assurer l'entraînement de l'eau à des vitesses réduites, certaines pompes (Grouvelle et Arquembourg) portent des dents de scie taillées sur la circonférence de la roue.

D'après des expériences faites par M. Butin, cette disposition tendrait à augmenter le débit.

Les pompes centrifuges sont simples, souples et leur usure est presque nulle.

On a essayé d'utiliser au lieu des pompes centrifuges, des pompes à palettes et des pompes à engrenages. Dans les premières, l'eau était entraînée à l'intérieur d'un tambour analogue à celui des pompes centrifuges, par des palettes s'appliquant constamment par un système de ressorts sur les parois du tambour et tournant autour d'un axe excentré par rapport à celui du tambour. Les secondes étaient analogues aux pompes à engrenages que nous verrons plus loin (§ 273).

Les pompes à palettes ont été rejetées comme trop compliquées. Quant aux pompes à engrenages qui fonctionnent très bien dans l'huile et qui ont l'avantage de donner une pression très supérieure à celle des autres types de pompe, elles ont les inconvénients suivants qui les ont fait rejeter :

1° Elles ne peuvent tourner qu'à vitesse réduite (5 à 600 tours), ce qui nécessite l'emploi d'un réducteur de vitesse ;

2° Elles s'usent dans l'eau ce qui amène d'abord un jeu produisant un bruit désagréable, ensuite la mise hors de service assez rapide ;

3° Elles sont détériorées par de petits corps étrangers qui ne causeraient aucun dégât aux pompes centrifuges.

254. Constitution de la pompe centrifuge. — Elle comprend (fig. 148) un corps de pompe généralement en bronze qui porte en son centre une portée dans laquelle tourne l'axe. L'obturation est assurée par un presse-étoupe maintenu par un ressort.

3. — ÉCHAPPEMENT

255. Bruit produit par l'échappement. — Les gaz brûlés sont, au moment où commence leur expulsion du cylindre, à une température d'environ 500° , et leur pression atteint 5 atmosphères.

Les gaz s'échappent donc sous pression au moment où la soupape se lève et si l'orifice d'échappement débouchait directement dans l'atmosphère, on entendrait un bruit analogue à une détonation d'arme à feu.

256. Silencieux. — Pour éviter ce bruit, on emploie un appareil appelé silencieux.

En principe, un silencieux (fig. 149 et 150) se compose d'une chambre divisée par des chicanes-compartiments de volume croissant.

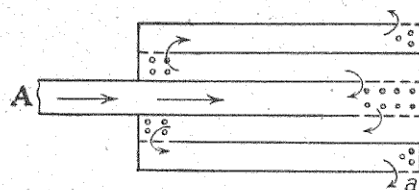


Fig. 149.

Les gaz se rendent dans ces compartiments par des ouvertures qui croissent également. Ils se détendent peu à peu en augmentant de volume et s'échappent dans l'atmosphère sans bruit.

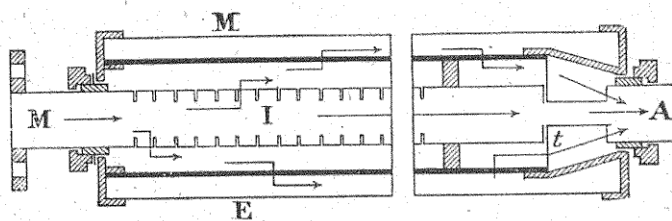


Fig. 150. — Coupe longitudinale du silencieux Galain.

Le volume total du silencieux est égal à six ou huit fois le volume de la cylindrée. Les parois doivent en être assez épaisses pour ne pas vibrer, assez minces pour ne pas emmagasiner trop de chaleur.

Enfin, il ne doit pas opposer à l'écoulement des gaz une résistance susceptible de faire naître une contre-pression qui, naturellement, diminuerait le travail produit par le moteur.

257. Échappement libre. — L'emploi du silencieux est obligatoire à Paris, mais dans la campagne, un certain nombre de voitures utilisent l'échappement libre.

Il ne faut pas croire qu'on augmente toujours par l'échappement libre la puissance du moteur.

Dans un silencieux bien étudié, où les gaz se détendent sans contre-pression, ils s'écoulent tout naturellement dans l'atmosphère. Au contraire, s'ils s'échappent sous pression, ils reçoivent de l'air ambiant une contre-pression qui, aux vives allures n'est pas négligeable.

258. Nature des gaz brûlés. — Les gaz de l'échappement contiennent de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau qui résultent de la combustion de l'essence et de l'azote qui provient de l'air aspiré. Ils contiennent, en outre, des produits qui proviennent de la combustion incomplète de l'essence et de l'huile (oxyde de carbone, hydrocarbures) et des vapeurs d'huile plus ou moins décomposée.

CHAPITRE X

GRAISSAGE

1. GÉNÉRALITÉS. — Utilité du graissage. — Choix du lubrifiant. — Huile. — Graisse. — Organes à graisser. — Disposition des surfaces en contact.
2. DISPOSITIFS DE GRAISSAGE. — Barbotage. — Circulation. — Graissage sous pression. — Dispositifs modernes. — Exemples. — Pertes d'huile.
3. ROULEMENT A BILLES. — Utilité. — Constitution.

1. — GÉNÉRALITÉS

259. Utilité. — Le graissage est absolument indispensable dans le moteur à explosion. Si l'on ne graissait pas, la chaleur dégagée par le frottement des pièces métalliques les unes sur les autres (piston sur le cylindre, arbre sur les paliers, etc.) serait vite assez considérable pour dilater les pièces, les déformer et les coincer les unes contre les autres (grippage).

Pour diminuer les effets du frottement, on interpose entre les pièces en contact un lubrifiant qui se sépare en deux couches appliquées sur chacune des parties en contact.

On substitue ainsi au frottement du métal sur le métal qui est toujours considérable, le frottement d'un liquide sur un liquide, qui est beaucoup plus faible.

260. Choix du lubrifiant. — Le lubrifiant doit être choisi avec soin. Il doit satisfaire aux conditions suivantes :

- 1° Avoir une certaine viscosité : il doit adhérer aux parties métalliques sur lesquelles il est envoyé ;
- 2° Avoir une certaine fluidité : les molécules doivent pouvoir se

déplacer aisément, glisser en quelque sorte sur elles-mêmes sans presque de frottement;

3° Être absolument neutre, c'est-à-dire n'avoir aucune action chimique sur les métaux avec lesquels il est en contact;

4° Résister, sans décomposition, aux températures élevées;

5° Avoir un point de congélation suffisamment bas pour être utilisable en hiver.

On trouve des huiles de graissage qui possèdent ces qualités à un degré suffisant pour être employées avec succès dans les voitures automobiles, mais toutes ces huiles, à l'usage, s'altèrent un peu, principalement sous l'influence de la température. Il est donc nécessaire de changer l'huile qui a servi pendant un certain temps.

Lubrifiants employés en automobile. — Pour toutes ces raisons, on emploie habituellement comme lubrifiant dans le moteur à explosion des huiles minérales.

La seule huile végétale qui remplisse les qualités exposées ci-dessus et qui, en particulier, résiste aux hautes températures, est l'huile de ricin. — Elle est rarement employée en automobile.

Enfin, dans les parties du moteur dont le graissage a moins d'importance, on peut utiliser la graisse consistante.

261. Huile minérale. — L'huile minérale est un des produits de la distillation des pétroles.

Au point de vue chimique, les huiles minérales sont donc des carbures d'hydrogène.

Les huiles brutes, telles qu'elles sont extraites de la distillation des pétroles où elles passent entre 350° et 420°, sont l'objet d'un raffinage et d'un brassage énergique dans un agiteur en présence d'acide sulfurique. On les neutralise ensuite avec une lessive caustique.

Une bonne huile est homogène, de couleur variant du jaune clair au brun avec une certaine fluorescence. Elle doit être demi-fluide; sa densité est généralement voisine de 900⁽¹⁾.

262. Huile de ricin. — L'huile de ricin est extraite de la graine du ricin; elle a pour densité 960. Son degré de viscosité est à froid

(1) On trouvera dans le livre II des indications sur les procédés qui permettent de se rendre compte des qualités d'une huile.

comparable à celui des huiles minérales. A chaud, sa viscosité diminue, mais moins vite cependant que la viscosité de ces dernières. Elle résiste à des températures de 250 à 300° alors que toutes les huiles végétales sont décomposées à ces températures.

L'huile de ricin est, en général, peu employée sur les moteurs d'automobile, car son prix est plus élevé que celui de l'huile minérale. Elle est couramment employée dans les moteurs d'aviation où elle a permis d'obtenir un graissage parfait.

263. Graisse consistante. — La graisse consistante s'obtient en saponifiant au moyen de chaux des huiles diverses. On obtient ainsi un savon que l'on mélange avec de l'huile minérale lourde.

Elle ne résiste pas aux températures élevées et, d'ailleurs, elle se prête mal au graissage des engrenages, des tourillons, etc..., où elle se trouve, par suite des forces de frottement et de sa compacité, rapidement chassée des parties en contact.

On l'emploiera donc uniquement dans le graissage des organes accessoires (organe de commande de la pompe, par exemple); on la place alors dans un petit godet (graisseur Stauffer) dont le chapeau peut être vissé plus ou moins en produisant le refoulement de la graisse.

264. Organes à graisser. — Il est absolument indispensable de graisser les portées du vilebrequin, les pieds et têtes de bielle, les parois du piston qui frottent contre le cylindre, les arbres qui commandent la distribution, les organes qui entraînent la pompe, la magnéto et les mécanismes accessoires.

265. Disposition des surfaces en contact. — La nature et la disposition des surfaces en contact jouent un rôle important dans le graissage.

1° Ces surfaces doivent être aussi lisses que possible, toute aspérité pouvant empêcher la formation d'une couche régulière de lubrifiant; ce résultat est obtenu par une rectification à la meule et un polissage soigné.

Il faudra naturellement laisser entre les pièces en contact un espace suffisant pour que la pellicule d'huile se forme.

2° Il est bon d'employer pour constituer les surfaces en contact

des métaux de dureté différente; c'est ainsi que les paliers sont garnis intérieurement de coussinets de bronze, les têtes et pieds de bielle de bagues également en bronze.

L'utilisation du métal antifriction donne, en général, de très bons résultats.

3° Les paliers doivent avoir des dimensions bien exactement calculées.

Si les surfaces en contact sont trop petites, la pression (par unité de surface) qui les appuie l'une sur l'autre est trop grande pour permettre la formation stable de la pellicule d'huile.

Si elles sont trop grandes, le travail de frottement devient plus considérable ⁽¹⁾.

La pratique seule peut donner les dimensions exactes.

4° Le point d'arrivée d'huile doit être judicieusement choisi.

La pression d'un arbre sur un palier n'est pas la même en tous les points. Elle dépend du sens de rotation et de la position de la ligne sur laquelle se fait l'appui au repos. Il faut faire arriver l'huile au point où cette pression est minimum. Des rainures appelées pattes d'araignée sont creusées à partir de ce point dans les coussinets et dans les bagues; elles conduisent l'huile sur toute la surface de contact.

En pratique, on aurait intérêt à graisser aussi abondamment que possible, mais il ne faut pas oublier que l'excès de graissage détermine un encrassement du moteur et des fumées gênantes produites par la combustion, dans les cylindres, de l'huile en excès qui s'y introduit au moment de l'aspiration.

2. — ÉTUDE DES DISPOSITIFS DE GRAISSAGE

266. Principaux dispositifs. — Les dispositifs de graissage ont pour but d'assurer pendant toute la marche du moteur le graissage des organes indiqués ci-dessus (§ 264).

Ils doivent leur envoyer une quantité d'huile suffisante pour rem-

(1) Le travail de la force de frottement est égal au produit de cette force par le déplacement de son point d'application, déplacement qui, à chaque tour, est égal à la circonférence de l'arbre.

placer celle qui s'échappe continuellement des portées. Cette quantité est proportionnelle à la *puissance* développée par le moteur.

Les procédés de graissage peuvent se ramener à trois types principaux :

- 1° Barbotage ;
- 2° Circulation ;
- 3° Graissage sous pression.

Mais on trouve le plus souvent dans les moteurs d'automobile une combinaison de ces différents procédés.

267. Barbotage. — Ce procédé consiste à remplir le carter du moteur d'une quantité d'huile suffisante pour qu'à chaque tour du moteur la tête de bielle vienne frapper cette huile en projetant des gouttelettes dans tous les sens. Il se forme ainsi un brouillard composé de gouttelettes d'huile qui se déposent sur toutes les parois.

Dans la plupart des moteurs qui emploient actuellement ce procédé, la tête de bielle est munie d'un petit tube en forme de cuiller et c'est cette cuiller qui frappe l'huile ⁽¹⁾.

Le graissage des différents organes est assuré de la façon suivante :

Cylindre. — Par l'huile qui se dépose sur ses parois; le graissage est dans certains cas si abondant que certains constructeurs le limitent en plaçant au-dessous du cylindre un écran qui ne laisse passer l'huile que par une ouverture d'un diamètre déterminé.

Paliers du vilebrequin. — Ceux-ci sont munis d'une ouverture débouchant dans le carter par un orifice formant une petite rampe. Les gouttelettes d'huile qui se déposent sur cette rampe coulent dans le palier.

Tête de bielle. — Graissage assuré par l'huile projetée à l'intérieur, soit de la cuiller, soit de la tête (par un orifice percé dans celle-ci).

Pied de bielle. — Partie par l'huile qui, projetée sur les nervures de la face interne du piston, tombe ensuite dans un petit entonnoir porté par la tête du pied de bielle et qui communique avec les pattes d'araignée creusées soit dans la bague, soit dans l'axe lui-même; partie par l'huile qui, se dépose sur la bielle et qui, par suite de son inertie, est projetée vers le pied de bielle lorsque le

(1) L'adoption de cette cuiller permet d'éviter que le graissage soit trop abondant.

piston descend. Cette huile entre dans le pied de bielle par des orifices percés dans la partie inférieure.

Autres organes. — Par le brouillard d'huile dans lequel ils se meuvent.

Le carter, est en communication avec l'atmosphère par des ouvertures dont l'une peut servir au remplissage. Ces ouvertures sont destinées à empêcher la contre-pression qui se produirait par suite du mouvement des pistons si le carter était hermétiquement clos.

Toutefois, ces ouvertures ne sont pas indispensables dans le moteur à quatre cylindres, où les pistons ont des mouvements symétriques. On verse alors l'huile par un orifice spécial ou même par les guides des poussoirs des soupapes (Panhard, quinze et dix-huit cylindres, 1912).

Le graissage par barbotage ne peut fonctionner dans de bonnes conditions qu'autant que le niveau d'huile au-dessous des bielles reste constant, malgré les pertes d'huile et les dénivellations de la route.

Ce dernier inconvénient se fait sentir sur les moteurs polycylindriques où le carter est long. On l'évite soit en cloisonnant le carter, soit en disposant au-dessous de chaque bielle un auget. L'huile nécessaire est envoyée dans ces augets soit par une pompe, soit par des dispositifs spéciaux (voir dispositif Panhard-Levassor, § 275).

L'emploi de ces augets permet en outre :

1° De limiter en toutes circonstances l'intensité du graissage, puisque la quantité d'huile projetée dépend uniquement du niveau d'huile dans chaque auget et que ce niveau ne peut dépasser les bords de l'auget.

2° De se servir du carter comme réservoir d'huile sans que le graissage soit affecté directement par la plus ou moins grande quantité d'huile que le carter contient.

3° De régler le graissage d'après la puissance que donne le moteur : par exemple, certains constructeurs rendent les augets mobiles. Une commandé reliée à l'organe qui règle l'admission des gaz du moteur lève les augets quand cette admission augmente.

Quant à l'huile qui disparaît par suite des pertes aux extrémités

de l'arbre, par le cylindre (huile pénétrant dans le cylindre pendant la compression et brûlée au moment de l'explosion); on la remplace au moyen d'huile contenue dans un réservoir et envoyée au carter soit par un graisseur, soit par un dispositif spécial; nous avons vu que l'emploi des augets permettait de se servir du carter lui-même comme réservoir.

Les pertes d'huile aux extrémités des arbres peuvent être limitées en munissant celles-ci :

1° Soit d'une rondelle en feutre placée dans une rainure creusée dans le palier. La rondelle, en s'appuyant sur l'arbre, empêche l'huile de sortir.

2° Soit d'une collerette portée par l'arbre. L'huile qui gagne cette collerette est chassée par la force centrifuge dans une gouttière creusée dans le carter, d'où par un tube elle gagne la partie inférieure du carter.

268. Graisseur ordinaire. — Le plus simple des graisseurs se compose d'un réservoir d'huile relié au carter par un petit tube. L'huile descend par son propre poids et le débit en est réglé par le conducteur du véhicule au moyen d'un pointeau muni d'un viseur en verre.

On complétait ce dispositif sur les automobiles où on l'employait autrefois par une petite pompe aspirante et foulante appelée coup de poing, destinée à envoyer un jet d'huile supplémentaire quand on demandait au moteur un effort plus considérable.

Ce dispositif devait être fréquemment réglé. Il n'était pas sûr et quelquefois même l'huile, lorsqu'elle descendait par son propre poids dans un petit tube, ne pouvait pénétrer dans le carter lorsqu'il régnait dans celui-ci une légère pression.

269. Graisseurs mécaniques. — Aussi a-t-on créé par la suite pour l'introduction de l'huile dans le carter, des graisseurs mécaniques dont le réglage est commandé ou automatique et qui réalisent deux conditions :

1° Fournir une quantité d'huile d'autant plus considérable que la puissance du moteur est plus grande et arrêter le débit quand le moteur s'arrête.

2° Faire arriver l'huile au carter sous une pression toujours supérieure à celle qui y règne.

Les premiers graisseurs mécaniques ont été les graisseurs Dubrulle (fig. 151).

Ce graisseur était contenu dans le réservoir d'huile et était mû par l'arbre moteur au moyen d'une commande qui agitait sur l'axe A.

Une pompe aspirante et foulante B mue par un excentrique calé sur l'arbre A, aspirait l'huile du réservoir et la refoulait dans une

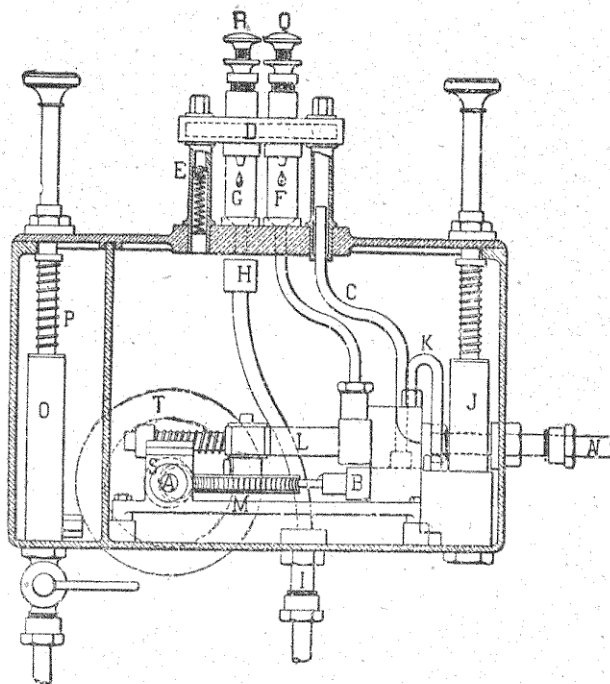


Fig. 151. — Graisseur Dubrulle.

A, axe de commande; B, pompe de circulation commandée par un excentrique calé sur l'arbre et refoulant l'huile dans la rampe D par le conduit C; E, bille maintenue par un ressort dans la colonne de trop-plein et donnant une légère pression dans la rampe D; F et G, compte-gouttes dont le débit est réglé par les pointeaux R et Q, — le compte-gouttes F alimente la pompe à jets et G alimente le changement de vitesse par le raccord I; une vis sans fin S, calée sur l'arbre A, commande une roue de vis sans fin M folle sur l'arbre à un petit vilebrequin T qui, entraîné par un goujon, refoule le piston et bande en même temps le ressort à boudin. Lorsqu'un demi-tour est fait, le vilebrequin échappe du goujon et violemment repoussé par le ressort, le piston refoule l'huile avec force par le raccord N d'où elle est canalisée; J, pompe auxiliaire à main reliée par le canal K à la pompe à jets et envoyant l'huile par la tubulure N; P, compartiment à pétrole; O, pompe à main pour le pétrole.

rampe supérieure D d'où elle descendait par une ouverture F à pointeau et à viseur dans le cylindre d'une pompe L aspirante et foulante.

Cette pompe a ceci de particulier que le mouvement d'aspiration commandé par un excentrique est continu, alors que le mouvement de refoulement, commandé par un toc convenablement disposé et par un ressort bandé dans la course d'aspiration, se fait par saccades; on a ainsi à intervalles réguliers, une chasse brusque d'huile que l'on peut conduire au carter ou à un point quelconque du mécanisme.

Le deuxième pointeau R servait à l'alimentation régulière et sans pression d'un organe quelconque de la voiture.

Dans les graisseurs Dubrulle le débit commandé par la pompe est donc proportionnel à la vitesse du moteur. Les pointeaux Q et R permettent de le régler.

L'excès d'huile refoulé par la première pompe retombe dans le réservoir par le conduit spécial E muni d'un clapet à bille maintenu par un ressort.

Une pompe coup de poing est, en général, disposée sur le côté du graisseur.

Enfin, un réservoir P peut contenir soit du pétrole, soit une huile différente qu'on injecte à l'aide d'une pompe o.

Le graisseur Dubrulle peut alimenter non pas seulement un seul pointeau, mais plusieurs, à l'aide d'une rampe de graissage dont le fonctionnement est analogue à celui du graisseur simple.

Ces graisseurs donnaient de bons résultats, mais leur débit était proportionnel, non pas à la puissance demandée au moteur, mais à sa vitesse.

Encore fallait-il que le moteur ne subit pas de changements d'allure trop accentués. Par suite de la présence du trop-plein qui est indispensable, mais par lequel s'écoule une grande partie de l'huile, le débit au carter ne croissant pas aussi vite qu'il était nécessaire. Il fallait alors agir sur les pointeaux pour augmenter le débit.

Il existait autrefois d'autres types de graisseurs qui étaient actionnés : les uns par la pression des gaz de l'échappement, les autres par celle de l'eau de circulation.

Les graisseurs ne se rencontrent plus sur les voitures récentes où le remplacement de l'huile est assuré par une pompe ou par des dispositifs spéciaux. Nous verrons quelques exemples de ces dispositifs.

270. Barbotage et circulation. — Au lieu de faire arriver l'huile envoyée par le graisseur mécanique ou la pompe en un point quelconque du carter, on peut l'envoyer dans les paliers qui sont ainsi arrosés directement. L'huile s'écoule ensuite des paliers dans le carter où elle maintient le niveau constant nécessaire au barbotage.

Mais au lieu de laisser l'huile tomber librement dans le carter on peut récolter dans des gouttières portées par l'arbre, l'huile qui

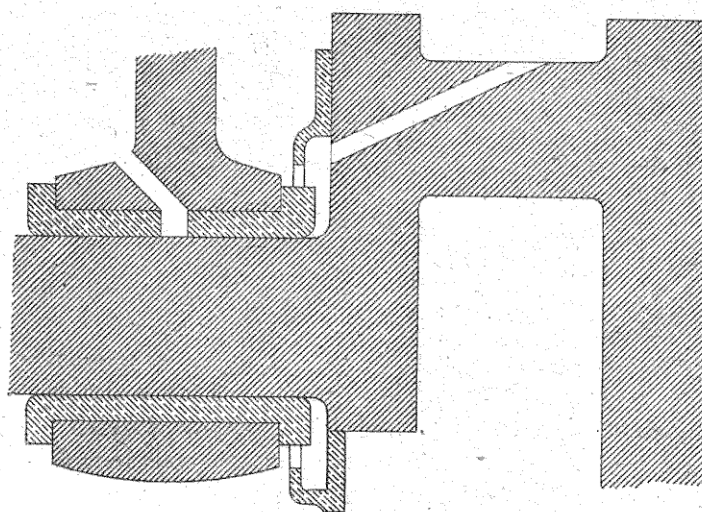


Fig. 152.

sort des paliers et l'envoyer par des conduits forés dans l'arbre jusqu'aux têtes de bielle en utilisant la force centrifuge (fig. 152). L'huile qui sort des têtes tombe dans le carter ou dans les augets.

On a été ainsi amené peu à peu à employer des dispositifs dans lesquels certaines articulations, les plus importantes, sont graissées par apport direct d'huile, les autres par barbotage.

On donne à ce procédé le nom de graissage par circulation ou par distribution.

Ce procédé peut être appliqué à tous les moteurs, mais il nécessite un dispositif complémentaire lorsqu'il s'agit de moteurs à quatre cylindres *n'ayant que deux paliers* ou à six cylindres *avec 3 paliers*.

Dans ce cas, il faut faire passer l'huile d'une tête de bielle à

l'autre. Or on ne peut le faire au moyen d'un conduit *foré* dans l'arbre, car la force centrifuge agit toujours en écartant l'huile de l'axe de l'arbre. On est donc obligé de disposer entre la première et la deuxième tête de bielle un conduit extérieur de forme telle que l'huile qui le parcourt s'éloigne, dans son trajet, de plus en plus de l'axe de l'arbre.

271. Barbotage avec graissage sous pression des organes principaux. — Ce procédé est le même que le précédent, mais les paliers

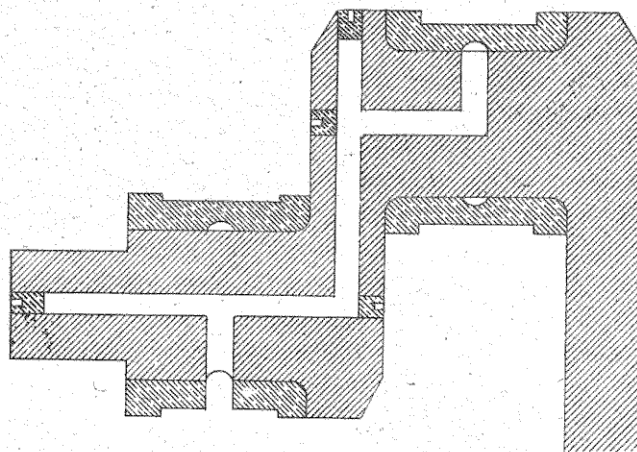


Fig. 153.

reçoivent de l'huile sous pression. Des paliers l'huile est amenée au moyen de conduits forés dans l'arbre (fig. 153) jusqu'aux têtes de bielle et de là par de nouveaux conduits jusqu'aux pieds de bielle; les autres organes sont graissés par barbotage.

Dans le moteur sans soupapes 35 chevaux Panhard, 1918, le graissage sous pression conduit l'huile aux paliers d'une part, aux cylindres d'autre part, ceci au moyen de conduits aboutissant directement de la pompe à chacun d'eux. Les autres organes sont graissés par barbotage.

272. Suppression du barbotage. — Enfin dans certains types de moteurs (Renault, Delaunay-Belleville, etc.), le barbotage n'existe plus. Le graissage de tous les organes principaux est assuré par

circulation ou sous pression et l'huile qui s'échappe des organes principaux graisse les organes secondaires.

273. Pompes — Dans la plupart des moteurs utilisant le graissage par circulation et dans tous ceux utilisant le graissage sous pression, l'huile est envoyée aux organes à graisser par une pompe.

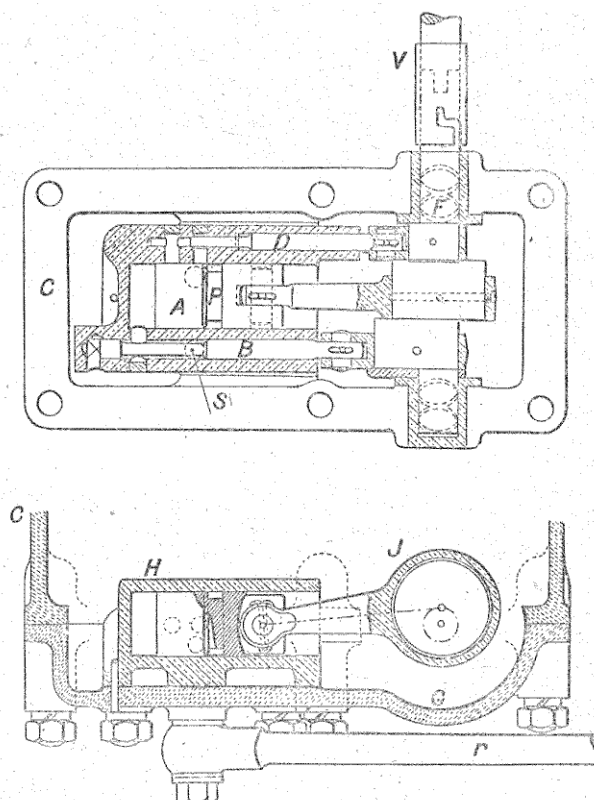


Fig. 154. — Ensemble de la pompe à huile (Châssis Panhard-Levassor, 20 HP, 1913).

A, piston principal; B, tiroir cylindrique; C, carter inférieur du moteur; D, piston d'huile fraîche additionnelle; F, arbre à excentriques; G, couvercle support; H, corps de pompe; J, bielle du piston principal; R, tuyau d'arrivée d'huile fraîche du réservoir additionnel aboutissant à l'orifice P; P, arrivée d'huile fraîche; S, orifice de refoulement d'huile; V, arbre de commande de la pompe.

Cette pompe est en général d'un des trois types suivants :

a) *Pompe à cylindre fixe et piston*. — La pompe à cylindre fixe est

souvent à double effet; elle aspire par exemple d'un côté l'huile au réservoir et la refoule au compte-gouttes de réglage; de l'autre elle aspire au compte-gouttes et refoule au moteur.

Exemples : Pompe Panhard et Levassor (fig. 154).

Les constructeurs suppriment généralement dans les pompes à cylindre et piston les clapets qui sont une source d'ennuis. Par exemple dans les pompes Panhard les clapets sont remplacés soit par de petites billes (fig. 159), soit par un tiroir commandé par un excentrique (fig. 154). On peut encore supprimer les clapets en employant des pompes oscillantes.

b) *Pompes oscillantes.* — Dans ces pompes le cylindre peut prendre un mouvement d'oscillation autour d'un point; des ouvertures percées dans la partie inférieure du cylindre viennent ainsi, au moment voulu, se placer en regard de l'orifice des tubes par où se fait l'arrivée ou la sortie de l'huile.

On trouvera plus loin la description des pompes oscillantes Renault (fig. 164) et Delaunay-Belleville (fig. 166).

c) *Pompes à engrenages.* — La pompe à engrenages se compose d'un corps de pompe en forme de cylindre aplati dans lequel

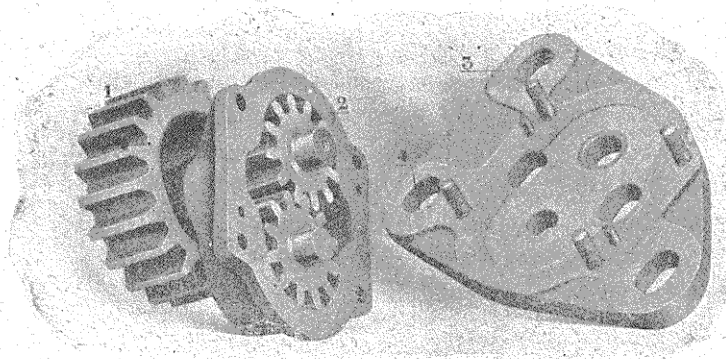


Fig. 153. — Pompe à huile (de Dion).

1, pignon de commande de la pompe à huile; 2, corps de pompe; 3, plateau de fixation de la pompe; 4, glissières pour régler la tension de la chaîne commandant la pompe.

tournent deux roues dentées qui engrènent l'une sur l'autre. On ménage entre le corps de pompe et les roues un jeu juste suffisant pour permettre le mouvement de ces dernières (fig. 155). Une des

roues dentées est commandée par le moteur, l'autre est folle sur son axe et commandée par l'autre roue.

Les conduits d'aspiration et de refoulement débouchent dans le corps de pompe, de part et d'autre des deux roues dentées. Le mouvement des roues fait passer l'huile d'un côté à l'autre, cette huile étant prise comme par des augets entre les dents des roues et la paroi du corps de pompe.

Les pompes à engrenages, que s'usent très rapidement lorsqu'on les emploie pour refouler de l'eau, donnent au contraire d'excellents résultats dans l'huile. Elles sont donc très employées pour le graissage.

On a employé pendant un certain temps des pompes à palettes, elles avaient l'inconvénient de s'user par suite du frottement des palettes sur le corps de pompe.

Les pompes à huile doivent être placées de manière à ce que l'huile qui s'y rend s'écoule par son propre poids. On évite ainsi le désamorçage de la pompe. En général la pompe est placée à la partie inférieure du réservoir d'huile ou du carter.

Les pompes à huile tournent à une vitesse beaucoup plus réduite que celle du moteur. Elles sont commandées par des pignons, des engrenages hélicoïdaux ou des chaînes qui donnent le rapport de vitesse voulu.

Les pompes à huile des trois types décrits ci-dessus, qui sont les seules employées, peuvent donner une très grande pression. On trouve donc souvent sur la conduite de refoulement un orifice fermé, par exemple, par une bille maintenue par un ressort. Lorsque la pression de l'huile dépasse la valeur prévue par le constructeur, le ressort est repoussé et l'excès d'huile s'échappe par l'orifice.

274. Dispositions générales des organes de graissage. — Dans les moteurs modernes, les organes de graissage comprennent :

a) Un réservoir d'huile.

Dans certaines voitures, le carter du moteur forme le seul réservoir d'huile.

L'huile est versée par le conducteur directement dans le carter. La pompe est alors placée au fond du carter, lequel est souvent muni d'un double fond séparé du premier filtre.

Quelquefois même, pour diminuer l'échauffement du carter qui pourrait altérer l'huile, le fond du carter est muni d'ailettes.

Le carter est toujours muni d'un bouchon de vidange pour l'écoulement d'huile qui a servi pendant un certain temps.

b) Des filtres ou crépines, où l'huile avant d'être aspirée par la pompe, se débarrasse des impuretés qu'elle contient.

c) Une pompe. Cette pompe n'est pas indispensable dans les dispositifs de graissage par barbotage seul.

d) Dans certains cas, des organes de réglage qui sont :

1° Des compte-gouttes à pointeau;

2° Des soupapes automatiques.

Ces organes ont pour but de régler la quantité d'huile à faire parvenir aux parties à graisser, ils sont complétés par un conduit de trop-plein qui ramène au carter ou au réservoir ou à un réservoir spécial (Berliet), l'huile que la pompe refoule en trop.

e) Un organe de contrôle (manomètre, tube de visée sur le trop-plein, etc...).

On conçoit l'importance du contrôle surtout dans le cas où le graissage se fait uniquement sous pression comme dans le dispositif décrit au § 275 — 4°.

f) Un organe de vérification du niveau d'huile dans le carter lorsque celui-ci sert de réservoir (jauge Renault, etc...).

275. Exemples de dispositifs modernes de graissage. — 1° SIMPLE BARBOTAGE. — Nous donnerons, à titre d'exemple de graissage par barbotage le dispositif employé sur les voitures Panhard-Levassor.

Il en existe deux variantes, le premier ne nécessitant pas de pompe, le second en employant une.

a) *Dispositif sans pompe* (fig. 156). — Ce dispositif comporte l'emploi d'un réservoir séparé, lequel est placé contre la paroi extérieure du carter.

Le carter est cloisonné (§ 267) et de plus les parois latérales sont munies de nervures G'G'G'' (fig. 158) venues de fonte avec elles et qui forment gouttières.

Le réservoir communique par un tube avec le compartiment du carter correspondant au quatrième cylindre.

L'huile neuve est introduite partie dans le quatrième compartiment du carter (1 litre), partie dans le réservoir (2 litres).

Voici comment fonctionne le dispositif :

L'huile venant du réservoir arrive dans le compartiment du quatrième cylindre. Elle est projetée par la bielle dont le chapeau

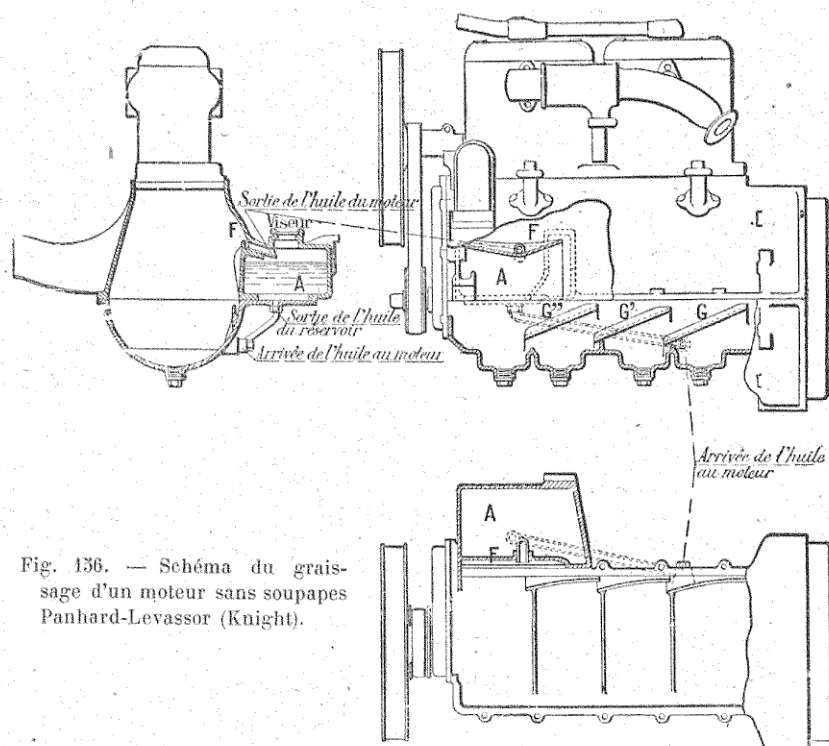


Fig. 136. — Schéma du graissage d'un moteur sans soupapes Panhard-Levassor (Knight).

porte une petite cuiller ou écope, jusqu'aux organes supérieurs, cylindres, pistons, etc., et dans les sans-soupapes, excentriques, bielles et chemises. L'huile qui retombe sur les parois du carter est recueillie par une gouttière G, disposée de telle manière qu'elle conduise cette huile dans le troisième compartiment. La pente de la gouttière a été calculée de façon que le fonctionnement ne soit pas troublé par les inclinaisons du châssis. Le même procédé conduit l'huile du troisième compartiment au deuxième, du deuxième au premier. Dans ce dernier, la gouttière est remplacée par une poche F, placée dans le carter supérieur, d'où l'huile par

simple gravité retourne au réservoir. (On aperçoit par le bouchon-viseur du réservoir ce retour d'huile qui indique que la circulation fonctionne normalement.

L'huile qui retourne au réservoir y est amenée par un conduit F qui débouche au-dessus d'un entonnoir E (fig. 157) muni d'un trou calibré dont le débit a été calculé pour la marche au ralenti; s'il y

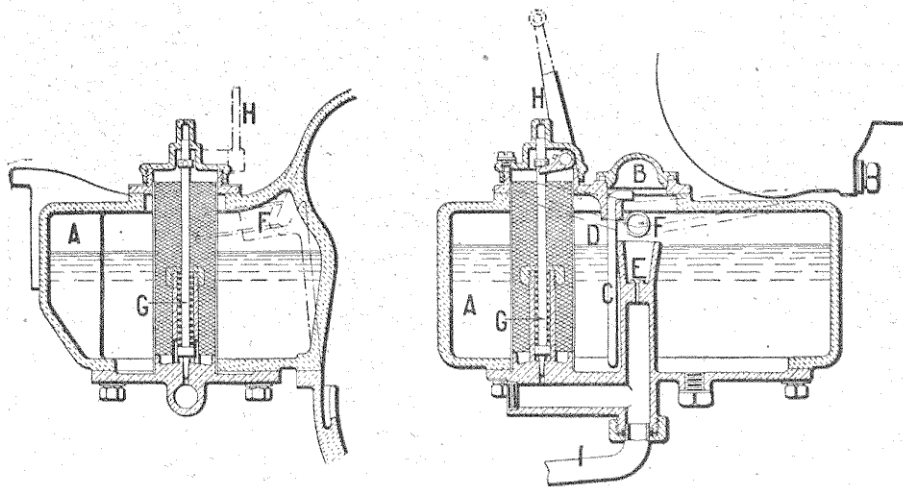


Fig. 157. — Réservoir d'huile (Moteurs Panhard-Lévyassor).

A, partie du carter supérieur formant réservoir d'huile; B, bouchon de remplissage du réservoir; C, jauge d'huile (le niveau du réservoir ne doit pas dépasser l'extrémité de l'entonnoir E, sinon il s'écoulerait directement dans le quatrième compartiment); D, niveau d'huile; F, poche et tuyauterie de retour d'huile au réservoir; G, pointeau d'huile supplémentaire pour la marche en puissance (ce pointeau ne doit commencer à s'ouvrir que lorsque la valve d'admission des gaz et par suite la pédale d'accélérateur, a déjà parcouru environ le tiers de sa course); H, levier de commande du pointeau; I, conduite de retour au quatrième compartiment.

a excès d'huile, l'huile en excès déborde de l'entonnoir E et s'écoule dans le réservoir.

Lorsque le moteur marche en puissance, ce qui nécessite une admission plus considérable de gaz frais au moteur, le levier H, réuni par une bielle à la valve d'admission des gaz, agit sur le pointeau G et laisse couler une quantité d'huile précisément proportionnelle à la quantité de gaz fournie au moteur, par conséquent au travail fourni par celui-ci.

b) *Dispositif avec pompe.* — Le dispositif avec pompe est analogue au précédent, mais une pompe est utilisée pour produire le mou-

vement de l'huile : 1° du réservoir au quatrième compartiment; 2° du premier compartiment au réservoir.

Pompe à huile. — La pompe est actionnée par un des arbres à cames et fixée à la partie arrière du moteur. Elle est commandée

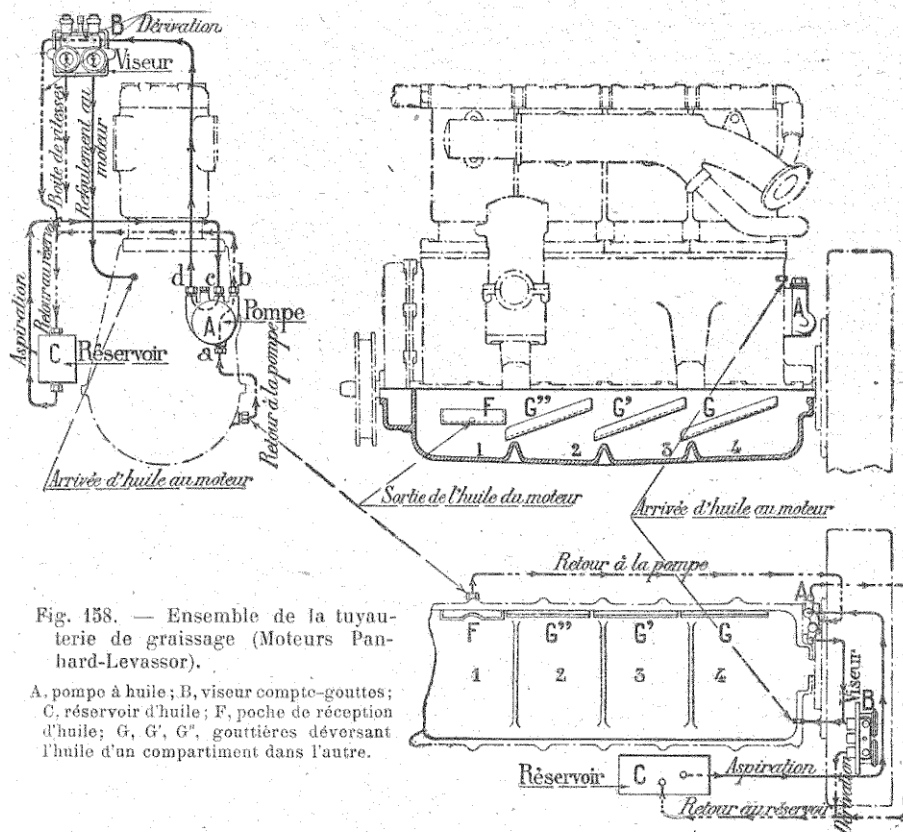


Fig. 158. — Ensemble de la tuyauterie de graissage (Moteurs Panhard-Levassor).

A, pompe à huile; B, viseur compte-gouttes; C, réservoir d'huile; F, poche de réception d'huile; G, G', G'', gouttières déversant l'huile d'un compartiment dans l'autre.

par la came G calée sur l'arbre solidaire de la zone dentée F (fig. 159).

Cet appareil comporte deux corps de pompe pour un seul piston H, travaillant sur ses deux faces. Le premier aspire l'huile du carter (premier compartiment) et la refoule au réservoir.

Le second reçoit l'huile du réservoir et la refoule au compte-gouttes.

Le premier de ces corps de pompe est constitué par l'enveloppe A,

L'huile y arrive du carter par un orifice *a* muni d'une bille *K*. Elle en part par l'orifice *b*, muni lui aussi d'une bille *K*.

Le deuxième est constitué par le tube *I*.

On voit donc que la pompe fonctionne dans le premier corps sans être guidée. Elle fait varier simplement le volume intérieur *A*.

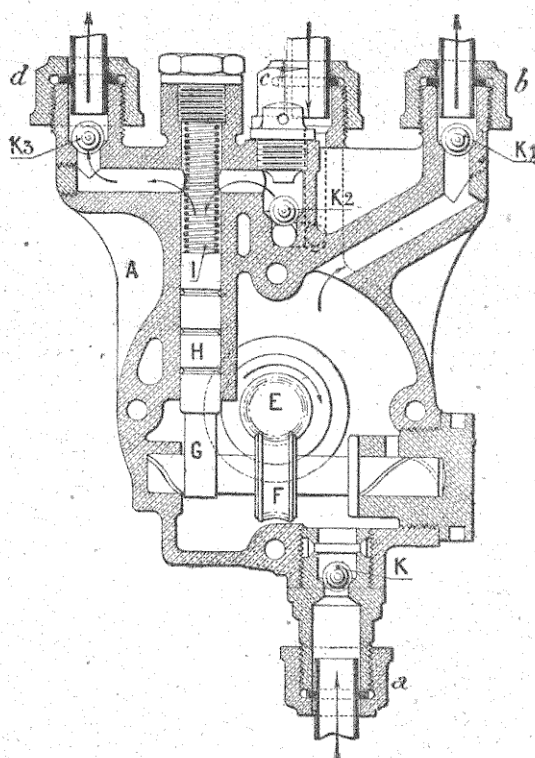


Fig. 139. — Pompe à huile (Voitures automobiles Panhard-Levassor).

A, corps de pompe; *a*, entrée de l'huile aspirée du carter (premier compartiment); *b*, départ de l'huile refoulée au réservoir; *c*, retour d'huile aspirée du réservoir; *d*, refoulement au carter (quatrième compartiment); E, extrémité de l'arbre à cames portant une vis sans fin; F, pignon à denture hélicoïdale commandé par la vis sans fin E; G, came faisant corps avec l'axe du pignon F; H, piston double mû par la came G; L, ressort appuyant le piston sur la came; K, K₁, K₂, billes remplissant le rôle de soupape automatique.

Dans le deuxième, elle est guidée. L'obturation entre le piston et le tube *I* est assurée par une simple couche d'air qui se loge dans des ramures pratiquées dans le piston.

Viseur compte-gouttes. — Le viseur reçoit l'huile envoyée par la

pompe et comporte deux débits : celui de gauche envoie l'huile à la boîte de vitesse, celui de droite règle le débit d'huile à envoyer au moteur (fig. 160).

Pour l'obtenir un débit proportionnel à la puissance, ce compte-gouttes utilise la dépression produite au carburateur. On sait que

cette dépression augmente avec la vitesse du moteur.

Une tuyauterie fait communiquer la chambre de carburation avec la partie inférieure du compte-gouttes distribuant l'huile au moteur : plus la dépression est grande et plus l'huile s'écoulera facilement par le pointeau.

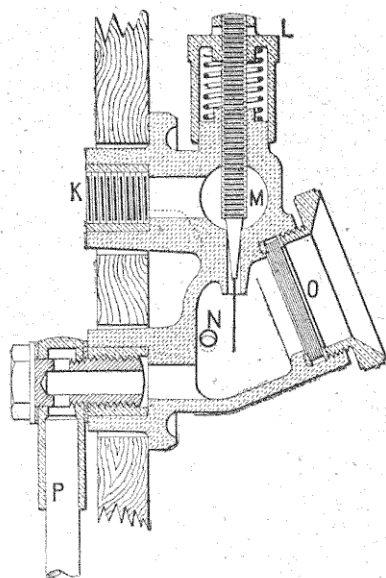


Fig. 160. — Viseur compte-gouttes (Voitures automobiles Panhard-Levassor).

K, arrivée de l'huile; L, molette de commande des pointeaux réglant le débit de l'huile; M, pointeau de réglage du débit; N, orifice par lequel s'exerce dans la chambre inférieure droite la dépression régnant à chaque instant dans le carburateur.

2° Exemples de GRAISSAGE PAR BARBOTAGE AVEC GRAISSAGE DIRECT DES PALIERS (sous pression) et DES TÊTES DE BIELLE (par circulation).

a) *Dispositif Peugeot* (fig. 161).

— On y voit le carter avec les cuvettes de barbotage, la pompe avec un filtre sur l'arrivée d'huile, le conduit qui graisse les paliers.

L'huile qui s'écoule des paliers tombe dans une cuvette circulaire d'où un conduit la

mène aux têtes de bielle comme il a été dit ci-dessus (§ 270).

b) *Dispositif Delahaye* (à réservoir d'huile). — Il est analogue au précédent, mais l'huile est prise par la pompe dans un réservoir analogue au graisseur Dubrulle à plusieurs tubes. Deux de ces tubes graisseurs conduisent l'huile aux paliers; un troisième graisse les cylindres par l'intermédiaire d'une vis creuse qui débouche dans le cylindre à un endroit recouvert par le piston lorsque celui-ci est au point mort bas.

Dans les moteurs à quatre cylindres dont l'arbre est supporté par

deux paliers seulement, l'huile qui s'écoule de ces paliers (fig. 162 et 163) est reçue dans une gouttière *excentrée* G d'où partent deux

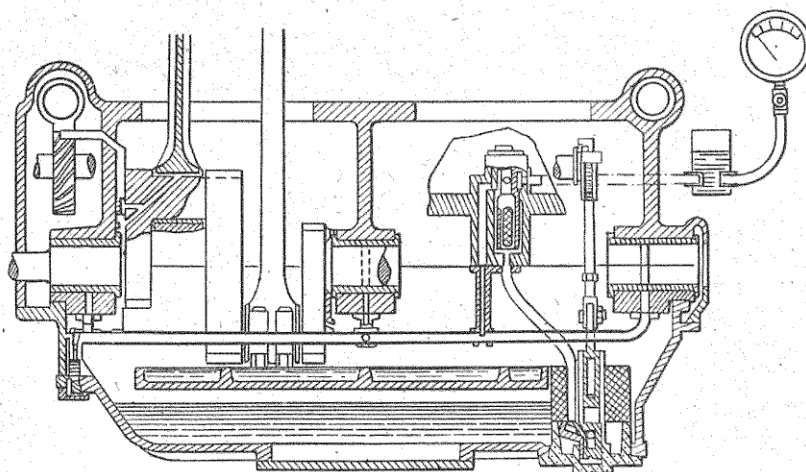


Fig. 161. — Graissage du moteur Peugeot. Coupe longitudinale.

conduits; l'un se dirige vers la tête de bielle la plus voisine (N° 1

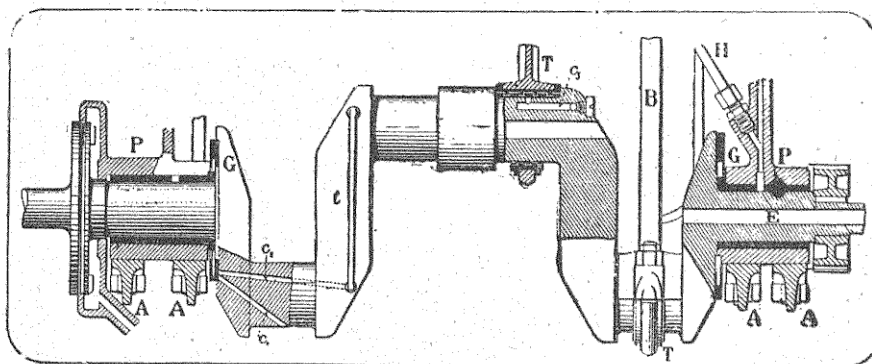


Fig. 162. — Graissage du moteur Delahaye.

P, paliers; AA, boulons de fixation des paliers; G, gouttière excentrée; c_1 , c_2 , c_3 , conduits d'huile; t , tuyau extérieur circulaire; T, tête de bielle; B, bielle; H, amenée d'huile aux paliers; E, canal formant reniflard.

par exemple), l'autre lui fait traverser le maneton n° 1, puis un conduit extérieur où l'huile chassée par la force centrifuge est

conduite à la tête de bielle n° 2 (disposition analogue à celle de la figure 165, pièce A).

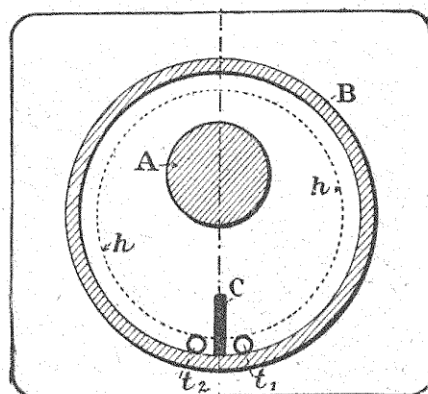


Fig. 163. — Schéma de la gouttière (graissage du moteur Delahaye).

A, vilebrequin; B, gouttière; h, couches d'huile; C, cloison; t_1 , t_2 , orifice des conduits d'huile.

3° GRAISSAGE SOUS PRESSION DES PALIERS ET PAR DISTRIBUTION DES AUTRES ORGANES (sans barbotage).

a) *Dipositif Renault* (sans réservoir d'huile). — Une pompe placée dans le carter refoule l'huile par une conduite B qui l'amène dans une crépine C facilement démontable, où elle se débarrasse des impuretés qui pourraient la souiller.

De la crépine, trois canalisations telles que D la font parvenir aux trois coussinets du vilebrequin.

Chaque coussinet absorbe l'huile nécessaire à sa lubrification et l'excédent est ramené au réservoir par des conduits de retour.

L'huile qui a graissé les coussinets s'écoule ensuite dans des bagues à gorge circulaire fixées sur le vilebrequin. La force centrifuge la fait alors passer par un conduit qui la dirige vers les têtes de bielle. En s'échappant de ces dernières elle est projetée dans toutes les directions et lubrifie ainsi toutes les autres parties du moteur.

Pompe à huile. — La pompe de graissage est oscillante et sans clapets; elle est commandée par l'arbre à cames par l'intermédiaire du pignon hélicoïdal E et de l'arbre F.

Le schéma de la figure 164 montre le fonctionnement de cette pompe.

Le tourillon Q solide de l'arbre E communique au piston R, dans lequel il est emboîté, un mouvement de va-et-vient corres-

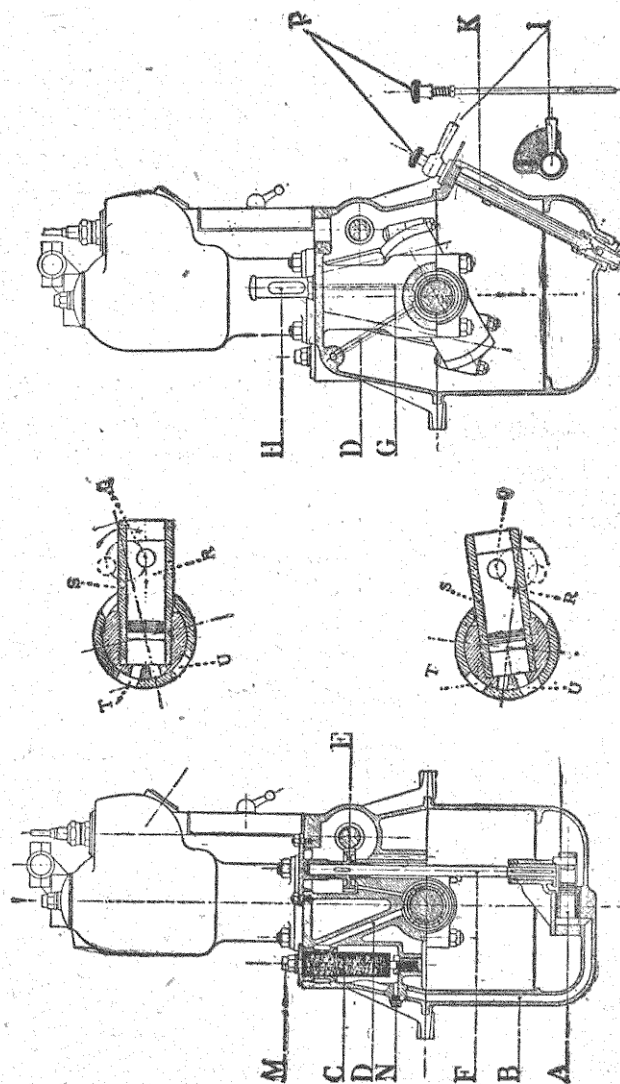


Fig. 164. — Dispositif de graissage (automobiles Renault).

pondant à l'aspiration et au refoulement de l'huile. En même temps, il imprime au cylindre S un mouvement oscillatoire qui découvre alternativement deux orifices T et U, percés de telle

façon que l'un est ouvert pendant le mouvement ascendant du piston et l'autre pendant le mouvement descendant. Le premier forme ainsi l'orifice d'aspiration et le second l'orifice de refoulement.

Il n'y a pratiquement aucun réglage à faire à cette pompe qui fonctionne constamment dans l'huile et n'est par conséquent assujettie à aucune usure.

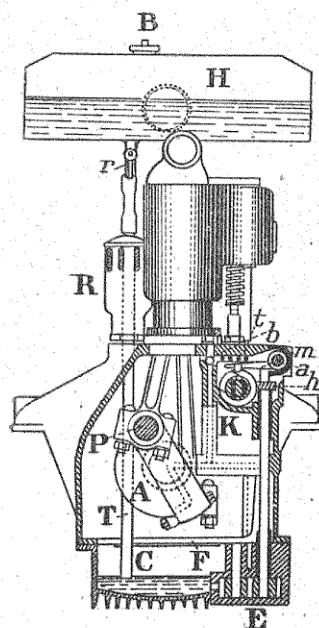


Fig. 165. — Schéma de graissage.

H, réservoir d'huile; B, bouchon hermétique; T, tube d'amenée d'huile; r, robinet fermant T; R, reniflard; C, carter formant réservoir d'huile; F, filtre; E, pompe à engrenages; A, pièce creuse en aluminium; P, maneton; K, carter de l'arbre à cames; D, arbre à cames; m, marteau; a, axe des marteaux; L, lame de ressort; h, engrenage hélicoïdal; b, bille poussée par un ressort.

b) *Dispositif Chenard et Walcker* (fig. 165). — On y remarque un réservoir d'huile fonctionnant automatiquement.

Ce réservoir, placé sous le capot, se ferme par un bouchon B hermétique, et l'huile s'écoule dans le carter inférieur par un tube T, qui traverse le reniflard R et dont l'extrémité affleure le niveau auquel doit arriver l'huile du carter.

Au début, le réservoir étant plein et le bouchon B bien serré, une petite quantité d'huile coule par le tube T jusqu'à ce que la dépression soit suffisante en H pour que la pression atmosphérique qui règne dans le carter fasse équilibre à la colonne d'huile contenue dans le tube et le réservoir. Si le niveau vient à baisser en C, un peu d'air rentrera par l'extrémité inférieure de T et permettra l'écoulement de l'huile. Cet écoulement se conti-

nuera jusqu'à rétablissement de l'équilibre précédent.

Un robinet r permet d'interrompre la communication entre H et C, si par mégarde on a laissé couler trop de lubrifiant dans le carter. Il sert à l'interrompre également lorsque l'on fait le plein du réservoir H, car, le bouchon B étant enlevé, la pression atmosphérique s'exerce librement à la surface de l'huile du réservoir et celle-ci s'écoulerait tout entière par le tube T.

Le réservoir porte du côté de la planche-tablier un large viseur circulaire représenté en pointillé sur la figure n° 165, par lequel le conducteur s'assure de la quantité de lubrifiant qui lui reste.

Quand le niveau est trop bas, il ferme le robinet *r*, dévisse *B*, fait le plein, rebloque *B* à la pince et ouvre *r*.

4° GRAISSAGE FORCÉ. — Dans ce système (Delaunay-Belleville), les paliers, les têtes et les pieds de bielle sont graissés sous pression à l'aide d'une pompe (fig. 166, 167, 168).

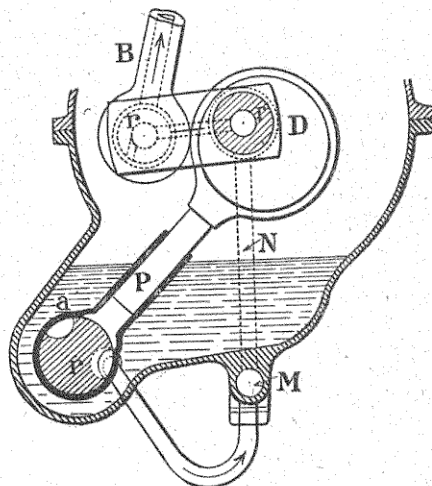


Fig. 166.

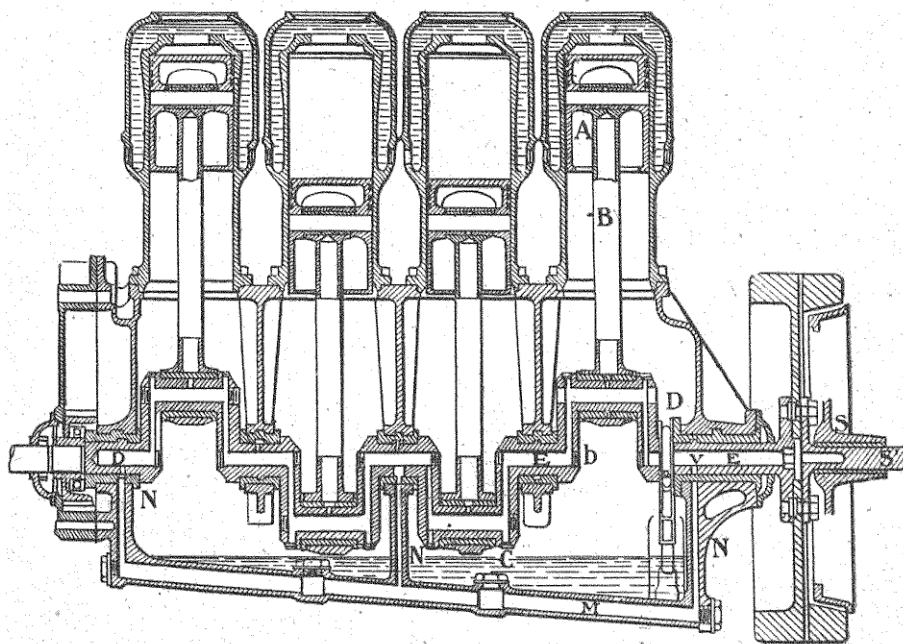


Fig. 167.

Pompe à huile. — Sur une extrémité du vilebrequin E est monté un excentrique D, solidaire du piston plongeur P. Ce piston est

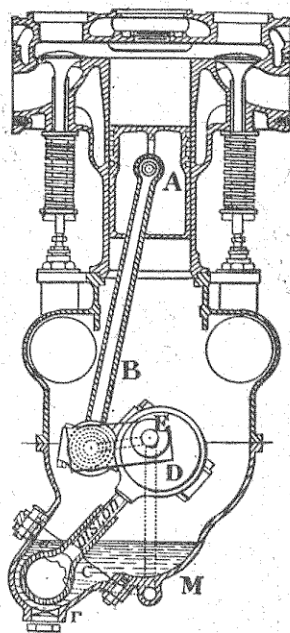


Fig. 168.

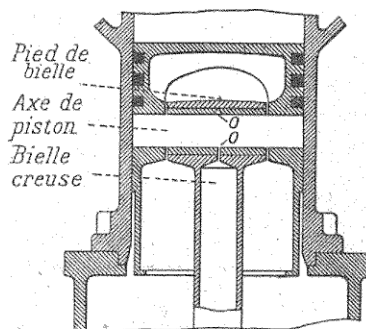


Fig. 169.

L'huile sort du coussinet du pied de bielle en quantité suffisante pour être lancée sur les parois du cylindre qui sont ainsi lubrifiées ainsi que l'arbre à cames.

enfermé dans une gaine cylindrique, dans laquelle est fixé un noyau fixe en acier, garni de deux échancrures *a* et *r*. Lorsque le moteur tourne, le piston P monte et descend dans sa gaine en même temps que celle-ci oscille autour du noyau fixe.

Lorsque le piston suivra sa course ascendante, il aspirera au moment même où la gaine, tournant vers la gauche, découvre l'échancrure *a* qui met en communication le liquide où plonge l'appareil et l'intérieur de la gaine.

De même, lorsque le piston commencera à redescendre, la gaine aura découvert l'échancrure *r* qui met en communication cette gaine avec le collecteur M. Ce collecteur est relié par un tuyau N aux paliers 1, 3, 5 de l'arbre.

Graissage des diverses parties du moteur. — Ces paliers portent une gorge qui reçoit l'huile qui est venue par le branchement.

Le vilebrequin, qui est creux et qui porte un orifice communiquant avec cette gorge, est donc traversé par un courant d'huile qui graisse les paliers 1 et 2, ainsi que les quatre têtes de bielle. Les bielles remplies d'huile en mouvement graissent à leur tour les pieds de bielle (fig. 169).

La circulation de l'huile se fait ainsi sous pression de 1 à 2 kg. par centimètre carré.

La pompe à huile comporte un filtre et une soupape de sûreté empêchant la pression de dépasser 2,5 kg.

§ 3. — ROULEMENTS A BILLES

276. Utilité. — L'emploi des roulements à billes a pour but de substituer dans les paliers au frottement de glissement le frottement de roulement qui est beaucoup moins considérable. On peut ainsi diminuer considérablement la quantité d'huile employée et réduire, la longueur des paliers, celle-ci étant déterminée par la résistance à la compression des billes d'acier.

Les premiers dispositifs de roulements à billes étaient constitués par un cône fixé sur l'arbre. Sur ce cône roulaient des billes jointives maintenues par une cuvette faisant corps avec le palier.

Ce dispositif, qui est encore employé sur les bicyclettes nécessite un réglage fréquent et ne convient pas pour les grosses charges.

277. Constitution. — Le roulement à billes employé en automobile se compose d'un roulement annulaire composé de deux bagues concentriques entre lesquelles sont placées des billes qui s'appuient sur des alvéoles creusées dans chacune des bagues (fig. 170).

Certains systèmes, qui comportent une double rangée de billes, permettent à l'anneau intérieur de prendre un mouvement de rotation par rapport à l'axe de l'anneau extérieur.

L'arbre sur lequel est monté l'anneau intérieur peut donc prendre un certain mouvement par rapport à l'axe du palier.

Les roulements à billes sont en général peu employés sur les arbres vilebrequin.

Ils sont volumineux et seraient très difficiles à poser sur les

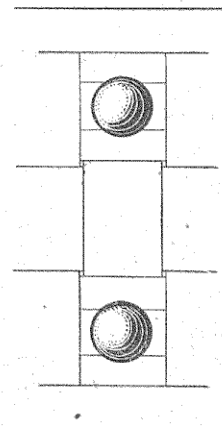


Fig. 170.

paliers intermédiaires ainsi que sur les têtes de bielles, où ils auraient en plus à subir des effets de matage provenant des changements de sens dans le mouvement de la bielle. On les réserve donc aux paliers extrêmes si les bagues peuvent être facilement emmanchées à frottement dur, de manière que la position de la bague intérieure reste invariablement fixée par rapport à l'arbre.

Cette condition est absolument indispensable au bon fonctionnement du roulement à billes puisque, si elle n'était pas réalisée on retrouverait un frottement de glissement déterminé par le contact de la bague intérieure et de l'arbre.

De même, il faut que la bague extérieure soit bien solidement fixée sur le palier.

Nous verrons, dans l'étude du mécanisme de la voiture, que les roulements à billes ainsi que les butées à billes y sont fréquemment employés.

CHAPITRE XI

RÉGULATION

RÉGULATION. — But de la régulation. — Régulateurs automatiques. — Régulateurs pour poids lourds. — Réglage par variation de l'allumage. — Dispositifs modernes. — Volant.

278. But de régulation. — Le but de la régulation est de faire varier la vitesse du moteur à la volonté du conducteur.

Dans les moteurs fixes, il est indispensable de prévoir un organe destiné à empêcher automatiquement la vitesse de prendre des valeurs s'éloignant trop de celle fixée pour la bonne marche des machines qu'actionne ce moteur.

Dans les moteurs d'automobile, il est au contraire indispensable de pouvoir faire varier à volonté la vitesse de rotation du moteur, mais il est aussi nécessaire de pouvoir la maintenir constante toutes les fois et aussi longtemps qu'on le désire.

Enfin, il est indispensable d'empêcher le moteur de prendre des vitesses incompatibles avec la résistance des pièces.

Nous savons que le meilleur rendement correspond pour un type de moteur à une vitesse déterminée et toutes les fois que l'on s'en écarte le moteur fonctionne dans des conditions moins avantageuses.

On recherchera donc, autant que possible, à faire tourner le moteur à cette vitesse type, mais la vitesse d'un véhicule automobile ne peut demeurer constante, il faut donc que le conducteur puisse faire prendre au moteur des vitesses de rotation très différentes, le passage d'une vitesse à une autre se faisant le plus vite possible.

D'autre part, si la résistance diminue ou même cesse tout à coup, le moteur s'emballerait si le conducteur n'avait aucun moyen de limiter la vitesse.

Les organes de sa régulation devront donc permettre :

1° De faire varier la vitesse du moteur;

2° De la limiter au cas où elle pourrait atteindre des valeurs trop élevées.

279. Régulateurs automatiques. — A l'origine, les moteurs d'automobile étaient, comme le sont les moteurs fixes, pourvus d'un régulateur automatique, maintenant la vitesse constante. C'est qu'à ce moment l'allumage se faisait au moyen de brûleurs et que ceux-ci étaient réglés pour une vitesse déterminée. Mais peu à peu l'allumage électrique est venu donner plus de souplesse au moteur et comme, d'autre part, l'action du régulateur était très gênante dans certains cas⁽¹⁾, la plupart des constructeurs, après avoir muni les voitures de tourisme d'un organe appelé « accélérateur » permettant d'annuler momentanément l'effet du régulateur, ont fini par supprimer ce dernier.

Ceux qui l'ont maintenu, l'ont perfectionné en permettant au conducteur de modifier la valeur de la vitesse que le régulateur doit maintenir constante. Ces régulateurs portent le nom de régulateurs à butées élastiques. Nous en verrons un exemple, au § 283. Un accélérateur permet en plus de supprimer complètement l'action du régulateur.

D'ailleurs la transmission du mouvement dans les voitures automobiles de tourisme est calculée pour que le moteur ne puisse pas s'emballer en marche normale; lorsque la vitesse augmente, l'accroissement des résistances au mouvement est tel, qu'elles font rapidement équilibre à l'action du moteur. Il n'en est pas de même sur les véhicules industriels où le moteur, calculé pour faire monter à des voitures lourdement chargées des côtes assez raides, dispose en palier d'un excédent de puissance assez considérable. Comme, d'autre part, la dépense kilométrique de ces véhicules croît beaucoup lorsque la vitesse dépasse la vitesse de régime et que

(1) Par exemple lorsqu'il était nécessaire pour passer un autre véhicule, d'augmenter pendant un moment l'allure du véhicule.

l'usure, par suite des trépidations devient alors considérable, il y a grand intérêt à munir les véhicules d'un régulateur automatique, empêchant la vitesse du moteur de dépasser une limite fixée.

Dans certains véhicules, avec ou sans régulateurs, un dispositif réduit automatiquement l'admission des gaz dès qu'on débraye, afin d'empêcher le moteur de s'emballer à ce moment.

280. Régulateurs automatiques à force centrifuge. — Les régulateurs employés sur les moteurs d'automobiles sont, en général, à

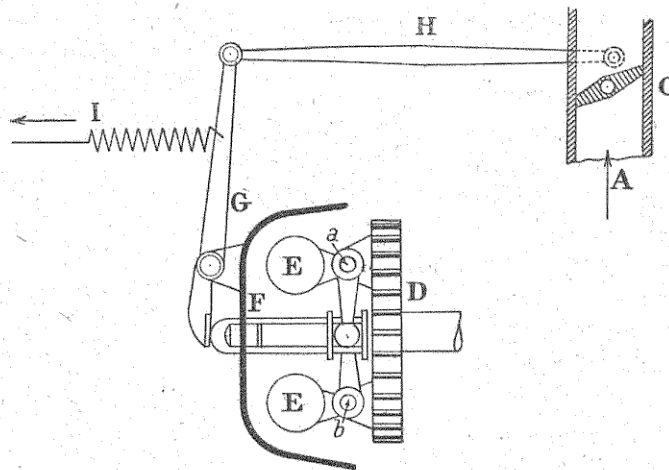


Fig. 171.

force centrifuge, leurs axes sont horizontaux et dans le sens de la marche des voitures, afin de ne pas être influencés par les oscillations.

Comme on le voit sur la figure 171, les deux boules E sont articulées sur un support D tournant avec l'arbre qui le porte. Ces boules agissent par l'intermédiaire d'une douille F sur le levier G qui commande les organes de réglage; un ressort I dont on peut faire varier la tension, fait équilibre à la force centrifuge des masses pour une vitesse déterminée.

L'écartement des boules est limité par des butées et le ressort I est souvent remplacé par des ressorts placés entre les boules et qui s'opposent à leur écartement.

La force qui sollicite un corps de poids P (dont la masse est par conséquent $m = \frac{P}{g}$, g étant l'accélération de la pesanteur) à s'écarter d'un axe autour duquel il décrit un cercle de rayon R avec une vitesse angulaire ω , est la force centrifuge :

$$m\omega^2 R.$$

Cette force F croît donc beaucoup plus vite que la vitesse de rotation ω .

281. Action des organes de commande de la régulation. — 1° *Tout ou rien*. — Dans les premières voitures automobiles de tourisme, l'action du régulateur automatique se faisait sentir sur le moteur par les moyens suivants, *qui sont complètement abandonnés aujourd'hui sur les voitures automobiles*. Ils étaient compliqués, mais avaient l'avantage primordial, au moment où l'allumage était fait par brûleurs, de maintenir dans le moteur le même taux de compression.

Ces procédés de réglage consistaient à supprimer complètement l'admission des gaz lorsque la vitesse du moteur dépassait celle qui était prévue. On appelait ces procédés : *Tout ou rien*.

Deux cas pouvaient se présenter suivant que le moteur était à soupape d'admission automatique ou commandé.

a) *Soupape d'admission automatique*. — Ne pouvant agir sur la soupape d'admission, on agissait sur la soupape d'échappement. Un doigt mû par le régulateur était introduit entre la came et la queue de la soupape d'échappement, laquelle, au lieu d'être rigide, pouvait pivoter autour d'un axe.

Ce doigt, en déplaçant la queue de soupape, l'empêchait d'être atteinte par la came et la soupape restait sur son siège.

L'échappement ne se produisait donc pas et le cylindre restait plein de gaz brûlés au moment de l'aspiration.

Il y avait donc diminution de la vitesse par interruption des courses motrices et par freinage dû à la compression des gaz brûlés restés dans le cylindre.

b) *Soupape d'admission commandée*. — Un dispositif analogue au précédent empêchait la levée de la soupape d'admission.

Le procédé par tout ou rien est brutal, il est économique puisqu'il conserve la compression, mais il procède par à-coups. Pour avoir une action continue, on a utilisé un second procédé d'action.

2° *Action continue sur l'admission.* — Le régulateur s'il existe, ou la commande manœuvrée par le conducteur de la voiture font admettre au moteur une quantité de gaz variable. Ils augmentent l'admission quand la vitesse baisse et la diminuent dans le cas contraire.

Remarquons que l'on agit ainsi de deux manières :

1° En augmentant ou diminuant la masse de gaz frais;

2° En augmentant ou diminuant en même temps la compression par le fait que celle-ci s'exerce sur une quantité plus ou moins grande de gaz.

A l'origine, on avait recours pour modifier l'admission aux actions suivantes :

Soit modification de la hauteur de levée des soupapes;

Soit modification de la durée d'ouverture.

Ces modifications étant obtenues par interposition entre les poussoirs et les queues de soupape de pièces de hauteur croissante.

Actuellement, on interpose simplement sur le trajet des gaz frais un volet ou boisseau qui permet d'ouvrir plus ou moins la tuyauterie.

282. Réglage par variation de l'allumage. — Avant de passer à l'examen des dispositifs employés sur les voitures modernes, rappelons qu'on peut théoriquement faire varier l'allure d'un moteur soit par suppression momentanée de l'allumage (tout ou rien), soit par modification du point d'allumage.

Ces procédés ne sont naturellement pas utilisés. Ils présentent, entre autres inconvénients, ceux d'avoir la même brutalité que les procédés par tout ou rien et d'être moins économiques, puisque les gaz frais sont admis au cylindre en même quantité, quelle que soit la vitesse du moteur.

Les procédés de réglage par appauvrissement du mélange gazeux ou par augmentation de la compression que l'on rencontre sur certains moteurs à explosion fixes, ne sont pas employés dans l'automobile.

283. Dispositifs modernes. Moteurs avec régulateurs. — a) *Véhicules de tourisme.* — Très peu de ces véhicules possèdent un régulateur automatique. Citons à titre d'exemple le régulateur hydrau-

lique Panhard à butées réglables, applicable aux moteurs à refroidissement par pompe (fig. 172).

Un piston M sans frottement est en équilibre sous l'action de la pression de l'eau agissant en L et du ressort antagoniste R.

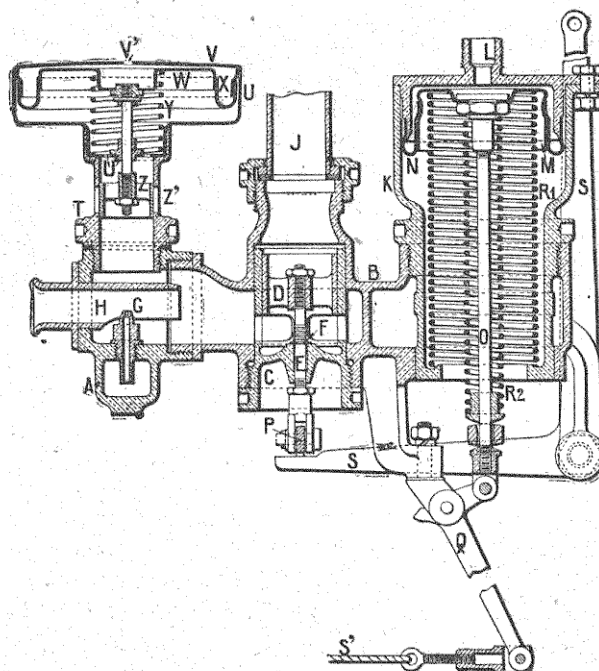


Fig. 172. — Moteurs 15 et 18 HP quatre cylindres.

Carburateur à régulation hydraulique (Automobiles Panhard et Levassor).

Corps principal : A, corps principal; B, support du régulateur hydraulique; C, bouchon-guide du tiroir régulateur; D, tiroir régulateur; E, tige du tiroir régulateur; F, ressort d'équilibre du tiroir régulateur; G, gicleur; J, tuyauterie d'aspiration (tuyau de départ des gaz carburés). — **Régulateur hydraulique :** K, corps de la boîte du régulateur hydraulique; L, arrivée de l'eau de la pompe de circulation; M, cuvette du régulateur hydraulique; N, membrane de régulateur hydraulique; O, tige du régulateur; P, levier double de commande de régulation hydraulique; Q, levier des manettes; R, ressort de la régulation hydraulique; R₁, ressort de réglage de la régulation hydraulique; S, levier d'accélérateur relié à la pédale d'accélérateur; S', câble métallique reliant le levier des manettes à la manette de commande du carburateur se trouvant sur le volant de direction. — **Arrivée d'air automatique :** T, raccord de piston à air; U, cuvette du piston à air; U', ouverture mettant en communication avec la chambre de carburation la face inférieure du piston à air; V, couvercle pour piston à air; V', orifice mettant en communication avec l'air extérieur la face supérieure du piston à air; W, piston à air.

Si la vitesse du moteur augmente, la circulation de l'eau est plus active, la pression augmente, le piston descend et par l'intermédiaire de la tige O du levier P et de la tige E, il agit sur le tiroir D.

qui limite le passage des gaz frais dans le conduit J qui se rend au moteur. Le ressort antagoniste est comprimé lorsque le piston descend et permet ainsi l'équilibre du piston à la position qui correspond à une pression donnée de l'eau.

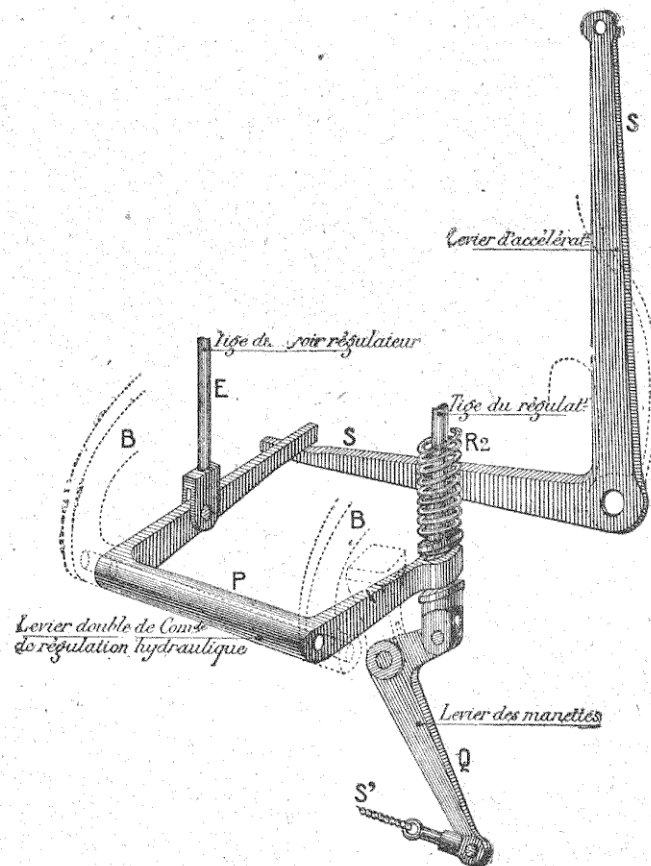


Fig. 173. — Ensemble des commandes du carburateur pour moteurs 15 et 18 HP quatre cylindres (Voitures automobiles Panhard-Levassor).

On conçoit donc que si l'on peut diminuer la tension initiale de ce ressort, on rendra le piston plus sensible aux variations de pression.

Le régulateur fonctionnera donc pour une vitesse moindre.

On y arrive, en tirant sur le ressort R_2 qui agit en sens inverse de R_1 .

Cette action est réalisée par le levier Q, lequel est commandé par un câble S' dont l'extrémité s'enroule sur un tambour F commandé par une manette K fixée dans le volant (fig. 174).

Inversement, un levier d'accélérateur S paralyse le ressort et la commande et agit directement sur le tiroir D.

b) *Véhicules type industriel dits de « poids lourds »*. — Nous avons vu que ces véhicules avaient toujours un régulateur automatique. Dans les véhicules modernes, on conjugue ce régulateur automa-

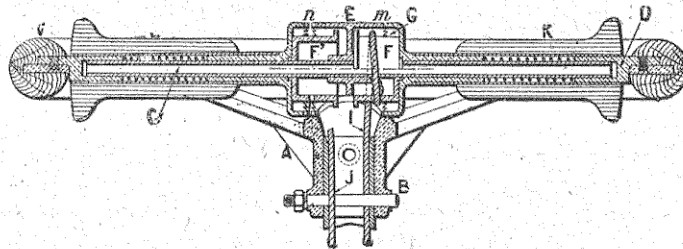


Fig. 174. — Manette du volant de direction.

A, volant de direction (armature métallique); C, axe des manettes; D, patte d'attache de l'axe des manettes; E, cage fixe des tambours; F, F, tambour d'enroulement des câbles métalliques; G, couronnes d'arrêt; I, câble métallique de commande du ralentisseur; J, câble métallique de commande de l'avance à l'allumage; K, manette de commande de la poulie du ralentisseur; L, manette de commande de l'avance à l'allumage; *mn*, dentures des couronnes d'arrêt; V, garniture bois du volant de direction A.

tique avec une commande (pédale ou manette) sur laquelle le conducteur peut agir.

Le régulateur et la commande agissent alors sur deux papillons ou deux boisseaux différents : le premier fixe la vitesse maximum, la seconde permet de donner aux véhicules toute la gamme des vitesses sans jamais pouvoir dépasser ce maximum.

Les figures 175 et 176 donnent le dispositif employé sur les tracteurs Renault à quatre roues motrices.

Les régulateurs actuellement employés sur les véhicules automobiles ne sont pas parfaits. L'un de leurs défauts est de ne pas suivre exactement les variations de vitesse du moteur. Par suite de l'inertie des pièces qui la composent, le régulateur automatique ne commence pas son action et ne la cesse pas au moment où il faudrait, de sorte que le moteur oscille continuellement autour de la vitesse moyenne. Ils ont en outre l'inconvénient de limiter la vitesse du

véhicule en limitant la vitesse du moteur, alors que dans certains cas, pour monter une forte côte par exemple, il est nécessaire

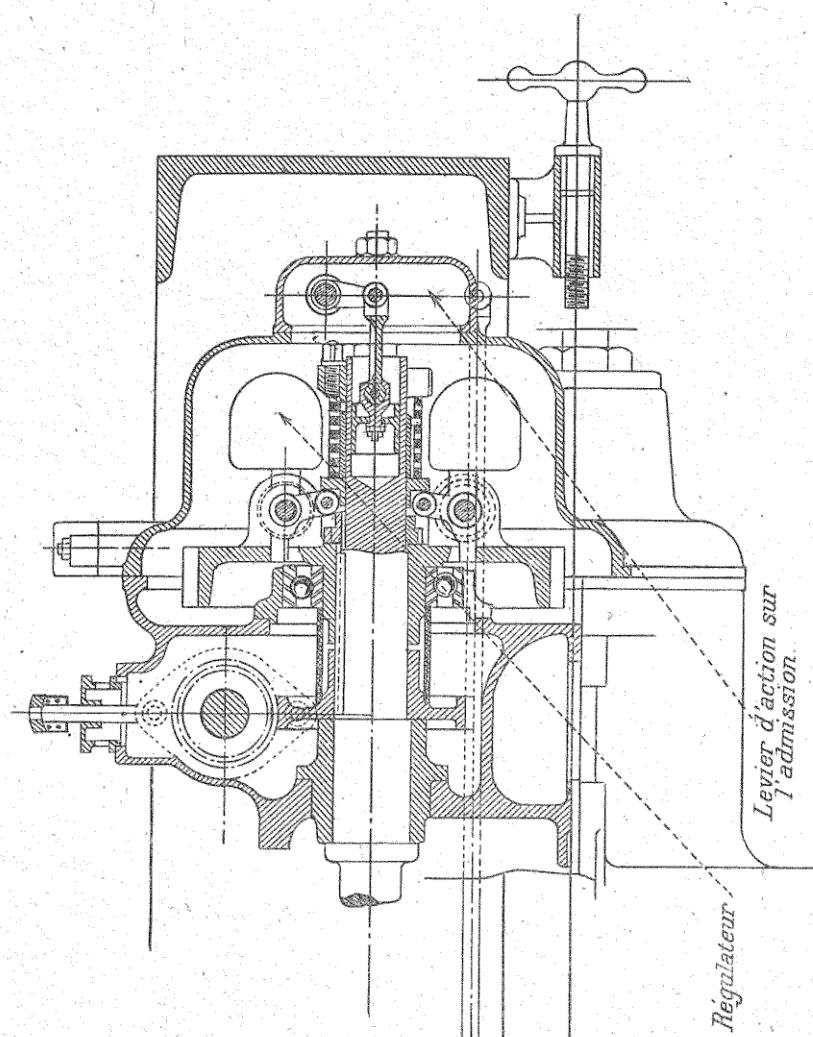


Fig. 173. — Tracteur Renault à quatre roues motrices. Régulateur automatique.

pour l'entraînement que le moteur tourne très vite, alors que les roues tournent beaucoup plus lentement grâce à la présence de l'engrenage démultiplicateur appelé changement de vitesse.

Pour éviter cet inconvénient, la maison Saurer a construit des

régulateurs qui n'interviennent que lorsque le moteur actionne *directement* les roues (cas d'une marche en palier). Dès que l'on

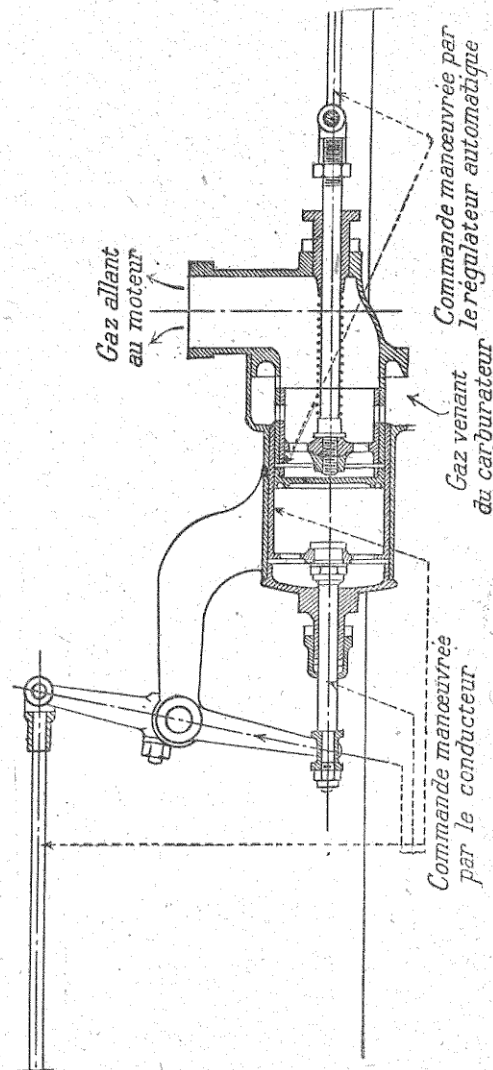


Fig. 176. — Tracteur Renault à quatre roues motrices. Régulation.

introduit un des engrenages du changement de vitesse, l'action du régulateur est supprimée.

234. Moteurs sans régulateurs automatiques. — Nous avons vu que le régulateur ne joue actuellement qu'un rôle bien effacé dans un véhicule de tourisme qui prend parfois en peu de temps quantité de vitesses différentes.

D'ailleurs, les moteurs de tourisme modernes qui possèdent un régulateur automatique ont en même temps un accélérateur qui, en fait, laisse le moteur sous la dépendance complète du conducteur.

Aussi, la plupart des moteurs de tourisme modernes ne possèdent pas de régulateur. La régulation y est obtenue par le jeu de deux organes :

1° Une manette (dite d'admission des gaz) ;

2° Une pédale (dite d'accélérateur).

Toutes deux agissent par l'intermédiaire d'un même levier sur un volet ou tiroir *qui commande l'admission des gaz au moteur*.

Ce procédé n'est pas le plus économique, puisque la compression varie dans le moteur. En fait on a constaté que des moteurs travaillant avec admission réduite et donnant par conséquent une plus faible puissance, consommaient presque autant qu'en travaillant à pleine charge avec admission normale.

D'autre part, la pression à l'intérieur du cylindre au moment de l'admission étant inférieure à la pression atmosphérique lorsque l'admission est réduite, l'huile qui graisse les parois du piston a tendance à passer à l'intérieur du cylindre. Il en résulte que lorsqu'on admet à nouveau les gaz en plein, cette huile brûle en dégageant une épaisse fumée qui risque d'encrasser le moteur.

Mais ce procédé de réglage est si simple et si facile à réaliser que l'on a passé par-dessus ces inconvénients.

La manette ouvre le volet d'admission de la quantité nécessaire pour permettre la marche à une certaine vitesse. L'accélérateur continue l'ouverture jusqu'à la position qui correspond à l'admission totale.

Habituellement, le conducteur règle la manette de telle façon que la quantité de gaz qu'elle fait admettre au moteur soit juste suffisante pour permettre la marche du moteur débrayé.

L'accélérateur permet d'atteindre toute la gamme des vitesses d'entraînement du véhicule.

Avec ce système, la conduite de la voiture se fait uniquement avec la pédale et lorsqu'on lâche celle-ci, un ressort antagoniste

rappelle la commande et le moteur se met de lui-même à l'allure minimum qui correspond à la position de la manette.

On peut également donner à la manette la position qui correspond à la marche normale et employer l'accélérateur uniquement au cas où l'on a besoin d'une augmentation momentanée de puissance.

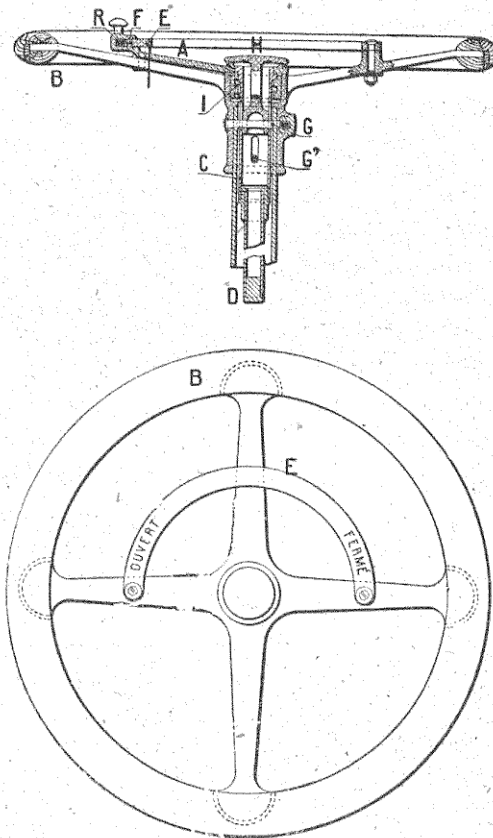


Fig. 177.

A, manette de commande du carburateur; B, volant de direction; C, manchon manœuvré par le filetage intérieur I de la manette; D, poussoir sortant à la partie inférieure de la boîte de direction; E, secteur; F, poussoir d'arrêt de la manette; GG', goupilles fixant le volant de direction et empêchant le manchon de tourner; H, bouchon de fermeture; R, ressort du poussoir d'arrêt.

Il faut alors avoir soin au moment où l'on débraye, d'agir sur la manette pour empêcher le moteur de s'emballer.

Dans le dispositif représenté par les figures 177 et 178, on voit

que la manette A (fig. 177) tire par un filetage un manchon C dont la partie supérieure forme écrou autour du filetage précédent.

Le manchon C règle ainsi la position du poussoir F (fig. 178) et par conséquent du levier D qui agit sur le boisseau d'aspiration.

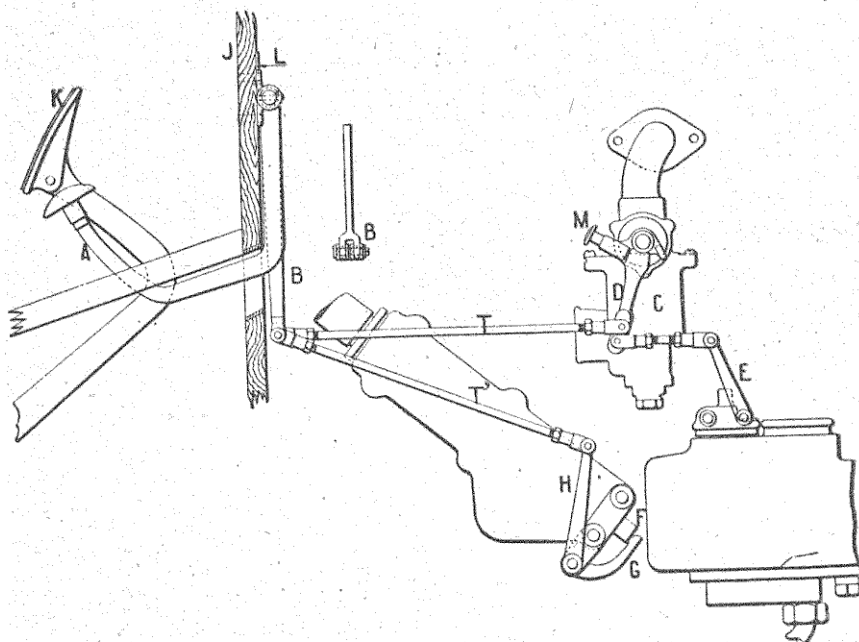


Fig. 178. — Régulation (Panhard-Levassor 10 HP 1916). (L'organe de régulation règle en même temps l'intensité du graissage.)

A, pédale d'accélérateur; B, levier transmettant le mouvement de l'accélérateur; C, carburateur; D, levier de commande du boisseau d'admission; E, levier de manoeuvre du pointeau dosant le graissage du moteur; F, poussoir (commande par la manette du volant); G, doigt (manoeuvré par le poussoir du ralentisseur et transmettant le mouvement par le levier H des tiges TT au carburateur et au réservoir d'huile); J, planche garde-crotte; K, pédales de frein et de débrayage; L, ressort de rappel de la commande d'accélérateur; M, butée réglable.

En tournant, la manette D passe de la position de fermeture à une position intermédiaire.

D'autre part, en appuyant sur l'accélérateur A (fig. 178), on donne à D les autres positions jusqu'à l'ouverture complète.

On remarque dans le dispositif indiqué la tige qui transmet le mouvement de l'accélérateur au pointeau qui règle le graissage et le proportionne ainsi à la puissance demandée au moteur.

La forme du volet réglable placé dans la tuyauterie d'admission

n'est pas indifférente. Il faut éviter le laminage des gaz qui peuvent provoquer des condensations. Ces volets seront placés le plus près possible du carburateur.

On les remplace souvent (Renault; Panhard) par des tiroirs qui ont l'avantage de ne provoquer aucun brisement du jet.

285. Rôle du volant. — Il ne faut pas oublier que le volant joue dans la régulation le rôle indispensable d'uniformiser la vitesse, malgré les variations discontinues de la résistance et les variations périodiques du couple moteur.

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE I MOTEURS

	Pages.
AVANT-PROPOS.	V
CHAPITRE I. — GÉNÉRALITÉS SUR LES MOTEURS A EXPLOSION	
1. — Généralités.	
1. Définition de la machine thermique	1
2. Caractéristiques du moteur à explosion.	2
3. Principe du fonctionnement du moteur à explosion	2
4. Transformation du mouvement	3
2. — Cycles.	
5. Définitions	3
6. Cycles sans compression.	4
7. Cycles avec compression.	5
8. Avantages de la compression.	5
9. Moteurs à quatre temps	5
10. Moteurs à deux temps	6
11. Fonctionnement du moteur à deux temps.	7
3. — Établissement du moteur à explosion.	
12. Organes essentiels et accessoires du moteur à explosion.	7
13. Volant	8
14. Graissage	8
15. Carburant	8
16. Refroidissement.	9
17. Équilibrage	9
18. Régulation	9
19. Mise en route	9
20. Conditions que doit remplir un moteur à explosion	10
21. Division du cours	10

CHAPITRE II. — PUISSANCE D'UN MOTEUR

1. — Rappel de quelques notions de Mécanique.

22. Grandeurs. — Unités	12
23. Grandeurs fondamentales. — Force	13
24. Travail	14
25. Travail moteur. — Travail résistant	15
26. Puissance	15
27. Unités de puissance	15
28. Travail indiqué	15
29. Travail effectif	15
30. Différence entre la notion de force et la notion de puissance	16
31. Puissance massique	16

2. — Mesure de la puissance effective.

32. Mesure de la puissance	17
33. Appareils de mesure de la puissance effective.	17
34. Couple moteur.	17
35. Appareils de mesure du couple moteur. — Frein de Prony.	18
36. Utilisation du frein de Prony.	20
37. Dynamo-dynamomètre	20
38. Utilisation de la dynamo-dynamomètre	22
39. Avantages de la dynamo-dynamomètre	22
40. Appareils mesurant directement la puissance. — Moulinet Renard.	23
41. Tarage des moulinets	25
42. Balance dynamométrique	25
43. Module	26
44. Similitude.	26
45. Abaques	26
46. Emploi des moulinets	28
47. Dynamo.	28
48. Mesure des vitesses de rotation	28
49. Exemple de tachymètre mécanique.	28
50. Exemple de tachymètre électrique	30

3. — Mesure de la puissance indiquée.

51. Diagrammes	30
52. Définition du diagramme	30
53. Mesure du travail indiqué	31
54. Diagramme théorique	32
55. Travail fourni.	33
56. Pression moyenne.	33
57. Calcul du travail produit par cycle.	33
58. Puissance	33
59. Rendement organique ou mécanique.	34
60. Relevé des diagrammes	34
61. Manographie.	34
62. Indicateur d'explosions de Mathot	37
63. Usage des diagrammes pour vérifier le fonctionnement des moteurs	37

4. — Formules empiriques.

64. Formules diverses	38
65. Nouvelle formule du service des mines	38

CHAPITRE III. — RENDEMENT THERMIQUE. — INERTIE

1. — Théories de la thermodynamique.

66. Analyse de la puissance	40
67. Application au moteur à explosion des théories de la thermodynamique	41
68. Transformation de l'énergie	41
69. Transformation de la chaleur en travail	41
70. Loi de l'équivalence	42
71. Unité de chaleur	43
72. Équivalent mécanique de la calorie	43
73. Machine thermique élémentaire	43
74. Propriétés des gaz	43
75. Chaleurs spécifiques	44
76. Calcul de la quantité de chaleur mise en jeu dans une transformation gazeuse	44
77. Transformation isothermique	45
78. Transformation adiabatique	45
79. Machines à piston	46
80. Fonctionnement de la machine thermique élémentaire	46
81. Rendement thermique	46
82. Représentations graphiques	47
83. Cycles fermés	48
84. Cycles de Carnot	48

2. — Cycle spécial du moteur à explosion.

85. Le cycle du moteur à explosion peut-il se rapprocher du cycle de Carnot?	49
86. Influence du refroidissement	50
87. Expériences de M. Boursin	50
88. Théorie de M. Letombe	50
89. Action de la paroi	51
90. Cycle spécial du moteur à explosion	53
91. Formules fondamentales	53
92. Apport de chaleur	54
93. Étude du cycle	55
94. Calcul du rendement	56
95. Observations	57
96. Moyens d'accroître le rendement thermique	58
97. Action sur le rendement mécanique	59

3. — Forces d'inertie.

98. Inertie	59
99. Mouvement	59
100. Vitesse dans le mouvement varié	60
101. Vitesse angulaire	60
102. Représentation de la vitesse. — Accélération	60
103. Mouvement rectiligne uniforme	61
104. Proportionnalité des forces aux accélérations. — Masse	61
105. Cas d'un corps soumis à des liaisons	62
106. Force d'inertie	62
107. Masses en mouvement	62
108. Irrégularités des forces d'entraînement	64

CHAPITRE IV. — RÉALISATION DU MOTEUR A EXPLOSION

1. — Analyse du fonctionnement.

109. Étude des diagrammes réels	65
110. Différences entre le diagramme théorique et le diagramme réel	65
111. Admission	67
112. Compression	67
113. Explosion et détente	69
114. Allumage. — Avance à l'allumage	69
115. Détente	70
116. Echappement	71
117. Mesure des avances	73
118. Considérations sur le maximum de puissance.	73

2. — Variations de la puissance d'un même moteur.

119. Courbe caractéristique.	73
120. Étude des caractéristiques	75
121. Conclusions de l'étude générale du moteur.	76
122. Unités principales	78
123. Unités secondaires.	79
124. Passage d'un système d'unités à un autre.	80

CHAPITRE V. — ORGANES DU MOTEUR PROPREMENT DIT

1. — Organes fixes.

125. Organes constitutifs du moteur.	81
126. Nombre des cylindres	82
127. Moteurs verticaux	82
128. Cylindres en V	85
129. Ordre des explosions.	85
130. Moteurs Gobron-Brillié	86
131. Construction du cylindre.	86
132. Carter.	94

2. — Organes mobiles.

133. Piston.	96
134. Bielle	102
135. Arbre	106
136. Volant	108

3. — Commande de la distribution.

137. Moteurs à soupapes et sans soupapes.	109
138. Soupapes	109
139. Soupape automatique	109
140. Inconvénients de la soupape automatique.	110
141. Soupapes commandées.	111
142. Rodage. — Nettoyage	113
143. Fabrication	113
144. Organes de commande de la distribution	113
145. Décompresseur	120

4. — Équilibrage.

146. But de l'équilibrage	121
147. Pièces en mouvement	122
148. Équilibrage des forces centrifuges	122
149. Applications au moteur	124
150. Forces d'inerties alternatives	125
151. Équilibrage des forces d'inertie alternatives	125
152. Équilibrage des pièces à trajectoire complexe	127
153. Forces d'inertie dues aux irrégularités du couple moteur	127
154. Volant	128
155. Calcul du volant	130
156. Action des forces sur le mécanisme	132
1° Forces d'inertie centrifuges	122
2° Forces d'inertie alternatives	133
3° Forces dues à la pression des gaz	134

CHAPITRE VI. — MOTEURS SANS SOUPAPES.

MOTEURS A DEUX TEMPS

§ 1. — Moteurs sans soupapes.

157. Historique	135
158. Divers systèmes	135
159. Moteurs Knight	136
160. Moteur CLC	136
161. Moteur Darracq-Henriod	136
162. Comparaison entre le moteur à soupapes et le moteur sans soupapes	139

§ 2. — Moteurs à deux temps.

163. Comparaison entre le moteur à quatre temps et le moteur à deux temps	146
164. Emploi du carter	147
165. Moteur Côte	149
166. Moteur René Legros	150

CHAPITRE VII. — CARBURATION

§ 1. — Carburants employés dans le moteur d'automobile.

167. Essence	153
168. Alcool	154
169. Alcool carburé	154
170. Benzol	154
171. Naphthaline	155
172. Emploi du carburateur	155

§ 2. — Carburateurs.

173. Composition du mélange	155
174. Qualités d'un carburateur	156
175. Inconvénient d'un excès d'essence	157
176. Importance du réchauffage du carburateur	157
177. Influence de la tuyauterie	158
178. Excès d'essence au départ	158
179. Historique des carburateurs	159
180. Carburateurs à distributeurs mécaniques	159

181. Exemple de carburateur à distribution mécanique.	159
182. Carburateur à giclage	160
183. Carburateurs modernes à pulvérisation.	160
184. Influence de la température	161
185. Influence du degré de volatilisation.	162
186. Influence des changements d'allure	162
187. Solutions employées pour le réglage du carburateur	163
188. Carburateurs modernes	164
189. Construction d'un carburateur	164

§ 3. — Étude des divers types de carburateurs automatiques.

190. Carburateurs à réglage par entrée d'air additionnelle seule	165
191. Réglage par freinage du débit d'essence	174
192. Réglage par action sur le débit d'essence.	174
193. Action sur l'essence et l'air.	178
194. Action sur la section d'entrée d'air et sur la dépression sur l'air et sur l'essence.	184

§ 4. — Réservoirs.

195. Alimentation du carburateur.	187
196. Réservoirs en charge	188
197. Réservoirs sous pression.	188
198. Exemples de compresseur d'air et de soupape différentielle	189
199. Exhausteur	190

CHAPITRE VIII. — ALLUMAGE

§ 1. — Procédés divers.

200. Divers types d'allumage	191
201. Allumage par transport de flamme	191
202. Allumage par tube incandescent	192
203. Allumage électrique	193

§ 2. — Allumage par accumulateurs.

204. Sources d'électricité	195
205. Piles sèches.	195
206. Accumulateurs.	196
207. Transformateur. Bobine de Ruhmkorff	197
208. Lois de transformation	198
209. Self-induction	199
210. Fonctionnement de la bobine.	199
211. Interrupteur magnétique.	200
212. Interrupteur mécanique	201
213. Dispositifs d'allumage par accumulateurs.	202
1° Moteur monocylindrique.	202
a) Bobine à trembleur magnétique	202
b) Bobine à trembleur mécanique.	202
2° Moteur polycylindrique	203
a) Distributeur sur le primaire.	204
b) Distributeur sur le secondaire	206
1) Trembleur magnétique	206
2) Trembleur mécanique	207
214. Distributeur	207
215. Bougies	208

§ 3. — Allumage par magnéto basse tension.

216. Magnéto basse tension	208
217. Fonctionnement de la magnéto.	210
218. Constitution de la magnéto	212
219. Vitesse de rotation	212
220. Allumage par extracourant de rupture	213
221. Dispositif	214
222. Allumage par magnéto et transformateur séparé	214

§ 4. — Allumage par magnéto haute tension

223. Magnéto haute tension	217
224. Description de la magnéto haute tension	219
225. Commande des magnétos	221
226. Caractéristiques des différentes magnétos.	221
227. Avance à l'allumage	222
228. Avance automatique	223
229. Magnéto à volets tournants	225
230. Comparaison des divers types d'allumage	225
231. Allumage par contact et allumage de secours	226
1° Dispositif à transformateur séparé	227
2° Dispositif Bosch	227
232. Allumage jumelé	231

CHAPITRE IX. — REFROIDISSEMENT. — ÉCHAPPEMENT

§ 1. — Refroidissement par l'air.

233. Nécessité du refroidissement	232
234. Principe	232
235. Air-cooling	233

§ 2. — Refroidissement par l'eau.

236. Dispositifs usuels	234
237. Thermosiphon	234
238. Refroidissement par pompe	235
239. Disposition générale de la tuyauterie	235
240. Radiateurs	235
241. Radiateurs tubulaires	236
242. Radiateurs cloisonnés	237
243. Réservoirs-radiateurs tubulaires	237
244. Réservoirs nid d'abeilles	238
245. Circulation de l'eau	240
1° Pompe et réservoir séparé	240
2° Pompe et réservoir-radiateur	240
3° Thermosiphon et réservoir-radiateur	240
246. Fixation des radiateurs	242
247. Ventilateurs	242
248. Capots étanches	243
249. Radiateurs à ventilateur centrifuge	245
250. Soins à donner au radiateur	246
251. Comparaison entre le thermosiphon et la pompe	247
252. Pompe de circulation	248
253. Pompe centrifuge	248
254. Constitution de la pompe centrifuge	250

§ 3. — Échappement.

253. Bruit produit par l'échappement	251
256. Silencieux	251
257. Échappement libre	252
258. Nature des gaz brûlés	252

CHAPITRE X. — GRAISSAGE

§ 1. — Généralités.

259. Utilité	253
260. Choix du lubrifiant	253
261. Huile minérale	254
262. Huile de ricin	254
263. Graisse consistante	255
264. Organes à graisser	255
265. Disposition des surfaces en contact	255

§ 2. — Dispositifs de graissage.

266. Principaux dispositifs	256
267. Barbotage	257
268. Graisseur ordinaire	259
269. Graisseurs mécaniques	259
270. Barbotage et circulation	262
271. Barbotage avec graissage sous pression	263
272. Suppression du barbotage	263
273. Pompes	264
a) Pompe à cylindre fixe et piston	264
b) Pompes oscillantes	265
c) Pompes à engrenages	265
274. Disposition générale des organes de graissage	266
275. Exemples de dispositifs modernes	267
1° Barbotage simple	267
a) Sans pompe	267
b) Avec pompe	269
2° Barbotage et graissage direct des paliers et têtes de bielle	272
a) Dispositif Peugeot	272
b) Dispositif Delahaye	272
3° Graissage sans barbotage	274
a) Dispositif Renault	274
b) Dispositif Chenard et Walker	276
4° Graissage forcé	277
Dispositif Delaunay-Belleville	277

§ 3. — Roulements à bille.

276. Utilité	279
277. Constitution	279

CHAPITRE XI. — RÉGULATION

278. But de la régulation	281
279. Régulateurs automatiques	282
280. Régulateurs à force centrifuge	283

TABLE DES MATIÈRES

303

281. Action du régulateur automatique	284
1° Réglage par tout ou rien	284
a) Soupape d'admission automatique	284
b) Soupape d'admission commandée	284
Action continue sur l'admission	285
282. Réglage par variation de l'allumage	285
283. Dispositifs modernes	285
a) Véhicules de tourisme et analogues	285
b) Véhicules de poids lourds	288
284. Moteurs sans régulateurs automatiques	294

