

Titre général : Cours élémentaire de mécanique industrielle

Auteur : Gouard, E.

Titre du volume :

Mots-clés : Génie mécanique * France * 1870-1914

Description : 1 vol. (182 p.) ; 21 cm

Adresse : Paris : H. Dunod et E. Pinat, 1910

Cote de l'exemplaire : 12 De 60.3

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?12DE60.3>



La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other CNUM documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from CNUM.

COURS ÉLÉMENTAIRE
DE MÉCANIQUE INDUSTRIELLE

Tome III

VOLUMES PARUS DE LA MÈME COLLECTION

Cours d'Arithmétique.....	4 fr. 75
Éléments d'Algèbre	3 50
Cours de Mécanique Industrielle, t. I.....	4 "
— — t. II.....	4 50
— — t. III.....	2 50
Éléments de Physique.....	3 50
Notions Élémentaires de Géométrie descriptive appliquée au dessin.....	2 50
Cours d'Histoire contemporaine, t. I.....	2 50
— de Géographie commerciale.....	4 "
— d'Espagnol commercial.....	3 50

BIBLIOTHÈQUE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

MM. Michel LAGRAVE, Inspecteur général honoraire de l'Enseignement technique
Emile PARIS, Inspecteur général de l'Enseignement technique

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL : Georges BOURREY, Inspecteur de l'Enseignement technique

12^e De 60

COURS ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉCANIQUE INDUSTRIELLE

MOTEURS A EXPLOSION, AUTOMOBILE, AÉRONAUTIQUE

PAR

E. GOUARD

Professeur à l'Ecole pratique d'industrie
et des mécaniciens de marine
de Boulogne-sur-Mer

G. HIERNAUX

Professeur à l'Ecole pratique d'industrie
de Reims
Licencié ès sciences mathématiques

Anciens élèves de la section normale industrielle de Châlons-sur-Marne

PRÉFACE DE M. FARJON

Ancien élève de l'Ecole polytechnique, Inspecteur de l'Enseignement technique

A l'usage des Écoles pratiques de Commerce et d'Industrie
(rédigé conformément aux programmes du 28 août 1909)
des Écoles nationales professionnelles, des Écoles des mécaniciens
de la marine, etc.

BIBLIOTHÈQUE

DU CONSERVATOIRE NATIONAL
des ARTS & MÉTIERS

TOME III

N° du Catalogue m 12 De 60

Prise en dépôt le 1^{er} juillet 1910

PARIS Entrée, le 3 juillet 1910

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS (VI^e ARR^t)

1910

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MÉCANIQUE

MOTEURS INDUSTRIELS A EXPLOSION OU A COMBUSTION INTERNE

I. — Notions générales

1. Définitions. — Dans les machines à vapeur, on dit que la combustion est **externe**, parce qu'elle se produit dans une capacité spéciale située en dehors du **cylindre moteur**.

Dans les **moteurs à gaz et à essence**, on dit, au contraire, que la combustion est **interne**, parce qu'elle a lieu dans la chambre même du **cylindre travailleur**. Pour éviter l'encrassement de celui-ci, le combustible doit y être introduit à l'état gazeux ou liquide pulvérulent, et mélangé à l'air dans des proportions convenables pour constituer un mélange détonant.

La combustion, assurée par un dispositif d'allumage, est très rapide; c'est la pression exercée sur le piston par les gaz produits qui occasionne le mouvement; d'où le nom d'**explosion**.

Les combustibles les plus usités sont :

1^o Le **gaz d'éclairage**, appelé encore gaz de ville ou gaz de houille;

2^o Les **gaz pauvres**, à l'air, à l'eau ou mixtes, obtenus par la *gazéification* de combustibles variés dans des *gazogènes* ou des *fours*.

3^o Les **gaz des hauts fourneaux et des fours à coke**;

4^e Le pétrole, l'essence et l'alcool, préalablement pulvérisés et mélangés intimement à l'air dans des carburateurs.

2. Historique. — Dès 1678, l'abbé Hautefeuille eut l'idée d'appliquer les propriétés expansives des gaz à la production de la force motrice, en faisant exploser de la poudre sous un piston. Le célèbre physicien Huygens (1623-1693) eut lui aussi cette idée. En 1799, l'ingénieur Philippe Lebon, qui découvrit le gaz d'éclairage, prit un brevet pour l'utilisation de ce gaz dans les machines motrices. C'est seulement vers 1860 que furent construits les premiers moteurs à gaz industriels. Le nom de Lenoir est resté le plus célèbre des promoteurs de cette invention. En réalité, il ne fut pas le seul inventeur : Degrand et Hugon méritent aussi d'être cités.

Lors de leur apparition, les moteurs à gaz étaient analogues à la machine à vapeur. Ils fonctionnaient à deux temps et à double effet. Le piston, sa tige, sa crosse, le presse-étoupe, le système bielle et manivelle, la distribution par tiroirs commandés par excentriques, se retrouvaient dans la nouvelle machine thermique. Un tiroir supplémentaire assurait au moment convenable l'inflammation du combustible gazeux par un dispositif d'allumage. A cause des hautes températures atteintes par l'explosion, on dut renoncer à la distribution par tiroirs, au presse-étoupe permettant le double effet et à la crosse de piston. Ces organes étaient trop sujets aux grippements. Actuellement, on refroidit les organes par une circulation d'eau autour du cylindre; la distribution se fait par soupape, et la bielle est directement articulée à un tourillon du piston, qui est long, pour assurer le guidage du mouvement rectiligne.

Le cycle à quatre temps est dû à Beau de Rochas (1862), mais il n'a été appliqué qu'en 1876 par Otto, qui avait déjà exposé une machine atmosphérique en 1867.

Jusqu'en 1886, le gaz fut le seul combustible utilisé. Depuis cette époque, le pétrole, l'essence et l'alcool ont été employés. Enfin l'utilisation directe du gaz des hauts fourneaux depuis 1895 a donné lieu à la construction de moteurs de fortes puissances et a contribué à l'essor de la production de la force motrice par les gaz pauvres des gazogènes.

II. — Combustibles gazeux

3. Gaz d'éclairage. — *a) Définition.* — Le gaz d'éclairage est un mélange de gaz combustibles obtenu par la distillation en vase clos des houilles grasses à longues flammes, riches en matières volatiles.

b) Production. — La gazéification s'effectue dans des cornues disposées dans un four dont on trouvera la description dans le *Cours de Chimie*.

Elle est suivie d'une épuration physique dans un bâillet et un scrubber à coke, parfois d'une épuration mécanique dans des épurateurs à choc, puis d'une épuration chimique dans des cuves à sciure de bois, à chaux et à oxyde ferrique.

c) **Produits de la fabrication.** — Une tonne de houille grasse donne environ :

- 300 mètres cubes de gaz d'éclairage;
- 700 kilogrammes de coke;
- 50 kilogrammes de goudron;
- 70 kilogrammes d'eaux ammoniacales.

d) **Composition du gaz d'éclairage.** — Elle varie avec la nature de la houille, avec la température et la durée de l'opération ; elle est cependant toujours voisine de la suivante :

Hydrogène H ₂	50 0/0 en vol.
Formène ou méthane CH ₄	33 0/0 —
Oxyde de carbone CO.....	8 0/0 —
Autres carbures C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , C ₄ H ₁₀	5 0/0 —
Gaz incombustibles Az, CO ₂	4 0/0 —

e) **Propriétés.** — La puissance calorifique de 1^{m3} de gaz est de 5.300 calories en moyenne (de 5.000 à 5.800) et son poids de 0^{kg},520. Il exige, pour brûler entièrement, environ 6^{m3} d'air, et le mélange de gaz et d'air dans ces proportions, lorsqu'il est enflammé, produit une explosion qui élève la température à plus de 3.000°. Dans ces conditions, si la pression était constante, le volume v_0 des gaz supposés à 0° deviendrait :

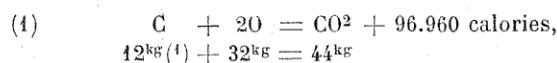
$$V = v_0 \times (1 + \alpha t) = v_0 \left(1 + \frac{3.000}{273}\right) = 12v_0.$$

Si, au contraire, le volume est constant, c'est la pression qui passe de 1 à 12 atmosphères.

Bien que dans la pratique ces chiffres ne soient pas tout à fait atteints, on conçoit toute l'importance de l'énergie que l'on peut utiliser dans les moteurs à gaz.

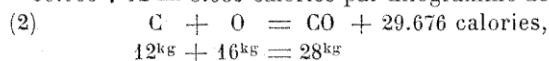
4. Gaz à l'air. — *a) Définition.* — C'est le mélange des gaz obtenu par la combustion incomplète du charbon dans un foyer soufflé à l'air. Le gaz combustible est l'oxyde de carbone CO.

b) Principe. — La combustion du charbon peut se faire suivant les deux réactions ci-dessous, qui sont toutes deux exothermiques, c'est-à-dire dégagent de la chaleur :



soit

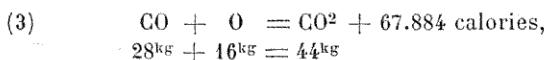
$$96.960 : 42 = 8.080 \text{ calories par kilogramme de carbone};$$



soit

$$29.676 : 42 = 2.473 \text{ calories par kilogramme de carbone.}$$

Il en résulte que la combustion de l'oxyde de carbone CO est elle-même exothermique :



soit

$$67.884 : 42 = 5.607 \text{ calories par kilogramme de carbone};$$

$$67.884 : 28 = 2.403 \text{ calories par kilogramme d'oxyde de carbone};$$

$$67.884 : 22,27^{(2)} = 3.021 \text{ calories par mètre cube d'oxyde de carbone.}$$

Par conséquent, si l'on arrive à transformer les combustibles solides en oxyde de carbone CO, qui est un combustible gazeux, on pourra utiliser directement ce dernier dans les moteurs à gaz.

(1) 12 et 16 sont les poids atomiques du carbone C et de l'oxygène O.
44 et 28 sont les poids moléculaires du gaz carbonique CO₂ et de l'oxyde de carbone CO.

(2) 22, 27 est le volume moléculaire des corps composés gazeux à la température de 0° et à la pression de 760^{mm} de Hg. Il s'exprime en litres ou en mètres cubes, selon que le poids moléculaire représente des grammes ou des kilogrammes.

c) **Formation d'anhydrique carbonique CO₂.** — Pratiquement, il subsiste toujours sur le gaz produit une certaine proportion de CO₂ qui varie avec la température :

A $t^{\circ} \leq 450^{\circ}$,	il y a en volumes 100 0/0 de CO ₂ et 0 0/0 de CO
550°,	— 90 0/0 CO ₂ 10 0/0 CO
650°,	— 60 0/0 CO ₂ 40 0/0 CO
750°,	— 20 0/0 CO ₂ 80 0/0 CO
850°,	— 5 0/0 CO ₂ 95 0/0 CO
T° $\geq 950^{\circ}$,	— 0 0/0 CO ₂ 100 0/0 CO

d) **Composition.** — En outre, le gaz renferme de l'azote Az, de l'air et quelques hydrocarbures contenus dans le charbon ou provenant de réactions diverses. Sa composition par mètre cube est voisine de la suivante :

0 ^{m3} ,22 de CO pesant 0 ^{kg} ,275 et dégageant 670 calories
0 ,05 H — 0 ,004 — 130 —
0 ,03 CH ₄ — 0 ,021 — 200 —
0 ,01 H ² O — 0 ,006 }
0 ,03 CO ₂ — 0 ,039 } gaz inertes
0 ,66 Az — 0 ,830 }
1 ^{m3} ,00 de gaz pèse 1 ^{kg} ,495 et dégage 1.000 calories.

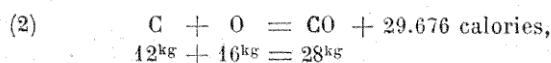
On obtient 5 mètres cubes de ce gaz par kilogramme de bonne houille maigre à 8.000 calories.

5. **Gaz à l'eau.** — a) **Définition.** — C'est un mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone provenant de la décomposition de l'eau par le carbone incandescent.

b) **Principe.** — La perte considérable de calories :

$$8.000 - (1.000 \times 5) = 3.000$$

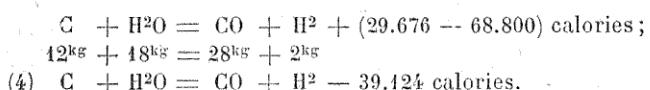
que l'on constate dans la production du gaz à l'air est due à ce que la chaleur dégagée par la réaction (2) :



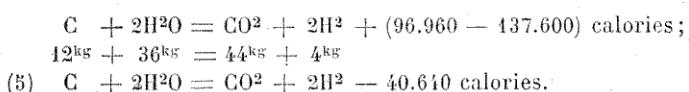
est complètement inutilisée.

En employant cette chaleur à vaporiser, puis à dissocier un

courant de vapeur d'eau, on obtient un rendement bien supérieur :



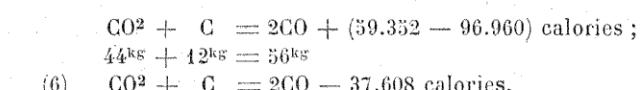
Cette réaction est **endothermique**, c'est-à-dire qu'elle absorbe de la chaleur ; elle ne peut donc se produire isolément. Il est d'ailleurs nécessaire de maintenir une température élevée $t > 550^\circ$ à l'intérieur du gazogène ; autrement la décomposition de la vapeur d'eau ne se produirait pas. Elle donne d'ailleurs lieu à la production de CO_2 inerte entre 550 et 800° :



6. Gaz mixte. — *a)* **Définition.** — C'est un mélange de *gaz à l'air* et de *gaz à l'eau* que l'on obtient pratiquement dans l'industrie en soufflant les gazogènes avec un mélange d'air et de vapeur.

b) **Marche du gazogène.** — Il convient d'employer une quantité modérée de vapeur (800 g par kilogramme de carbone fixe), afin de marcher à une *allure très chaude* qui favorise :

- 1^o La formation d'oxyde de carbone, réaction (2) ;
- 2^o La réduction de l'anhydride carbonique à l'état d'oxyde de carbone :



3^o La décomposition plus complète de l'eau en ses éléments. En même temps que les réactions (1), (2), (3), (4), (5) et (6), il se produit la distillation des carbures d'hydrogène. Les matières volatiles, *méthane* CH_4 et parfois *éthylène* C_2H_4 , passent dans le gaz qu'ils enrichissent.

Quant aux *goudrons*, plus ou moins liquides, ils peuvent

être très gênants si l'on n'arrive pas à les décomposer ou à les arrêter avant l'arrivée des gaz aux moteurs qu'ils en-erassent.

Les cendres que tous les combustibles renferment en quantité plus ou moins grande peuvent aussi être très nuisibles par suite de la formation de mâchesfers qui obstruent les grilles.

c) Combustibles employés. — Les plus favorables sont les plus maigres et les plus purs : *anthracite* du pays de Galles ; *charbons maigres* criblés français ou belges : Anzin, Ostricourt, Nœux, Vicoigne (Nord et Pas-de-Calais), Nord-Alais (Gard), etc. ; *coke* et *charbons de bois*. Les gazogènes soufflés permettent cependant l'emploi de combustibles beaucoup plus variés et plus médiocres.

d) Composition du gaz mixte. — Elle est approximativement la suivante pour 1^{m3} :

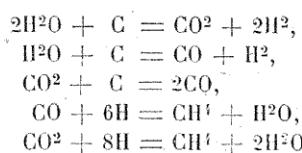
0 ^{m3} ,27 de CO pesant 0 ^{kg} ,33 et dégageant 443 calories					
0 ,48 H — 0 ,015 —	—	855	—		
0 ,07 CO ² — 0 ,44	—				
0 ,48 Az — 0 ,60	{ gaz inertes				
1 ^{m3} ,00 de gaz pèse 1 ^{kg} ,10 et dégage 1.300 calories					

Il exige environ 1 fois 1/2 son volume d'air pour brûler complètement.

Nous donnons, d'après M. *Lencachez*, la composition de quelques gaz industriels particuliers :

COMPOSANTS en VOLUME	A. L. ANTHRACITE	DOWSON ANTHRACITE	SIEMENS HOUILLE FLÉNUÉ	MOND SPLINT-COAL	J. A. L. SPLINT-COAL
Autres Combustibles					
H.....	48,79	26,55	5,83	23,00	14,50
CO.....	21,22	48,29	21,56	10,00	29,50
CH ₄	4,61	0,00	3,47		
C ₂ H ₄	0,52	1,44	0,00	3,00	4,45
O.....	0,18	0,46	0,52	0,00	0,00
CO ²	4,55	41,30	2,35	45,00	3,00
Az.....	53,13	42,29	66,57	49,00	48,55
Pouvoir calorifique au mètre cube.	1.548 cal.	1.388 cal.	1.080 cal.	1.456 cal.	1.650 cal.

7. Gaz de bois H. Riché. — *a)* **Principe.** — La distillation, en vase clos, du *bois*, combustible riche en *carbures d'hydrogène* (60 0/0) et en *humidité* (10 à 20 0/0), produit comme celle de la houille, un gaz riche en éléments combustibles. Les réactions suivantes se produisent :



Il reste du charbon de bois dans les cornues du four, comme il reste du coke après distillation de la houille.

b) **Composition.** — Elle est en moyenne la suivante :

Hydrogène H.....	45 0/0 en volume
Méthane CH ₄	15 0/0 —
Oxyde de carbone CO.....	22 0/0 —
Anhydride carbonique CO ₂	48 0/0 —

c) **Propriétés.** — Il demande pour brûler complètement les 3/5 de son volume d'oxygène, soit 3 fois son volume d'air. Son pouvoir calorifique au mètre cube est de 3 000 calories.

Le pouvoir éclairant de ce gaz est très faible ; il convient cependant pour l'éclairage par incandescence. On l'utilise aussi pour le chauffage industriel et surtout pour la production de la force motrice.

8. Gaz des fours à coke. — « Les installations de fours à coke que l'on construit actuellement sont toujours accompagnées d'une usine de récupération des sous-produits de la fabrication du coke (goudron, sulfate d'ammoniaque, etc.) ». Ces installations modernes complètes sont assez coûteuses elles exigent un capital presque double de celui demandé par les installations anciennes. Mais le bénéfice réalisé est tel qu'il permet d'amortir, en quelques années, les frais d'établissement. Aussi ne faut-il pas s'étonner que les usines à sous-produits se soient rapidement généralisées.

« La distillation d'une tonne de houille à coke produit en moyenne environ 240 mètres cubes de gaz, vapeur d'eau condensée.

« La quantité de gaz qui doit brûler dans les carreaux pour produire la cokéfaction, varie d'après le degré de perfectionnement du four, la nature du combustible, etc.

« De plus, on préleve sur le gaz restant la quantité nécessaire à la production de la force motrice absorbée par les différents appareils d'enfournement et défournement, d'extinction, des pompes et extracteurs, et enfin une portion pour produire la vapeur qu'il faut aux colonnes de distillation des sous-produits.

« On ne peut compter ainsi, comme quantité de gaz réellement disponible, que sur 35 0/0 de la quantité totale produite dans les fours, soit 84 mètres cubes par tonne de houille enfournée ou 105 mètres cubes de gaz par tonne de coke produite (le rendement en coke étant en moyenne 80 0/0).

« La composition du gaz de fours à coke est la suivante :

C ^m H ⁿ	4,5 à 3 0/0 en volume
CH ⁴	25 à 35 0/0 —
CO	5 à 10 0/0 —
H	50 à 55 0/0 —

« C'est un gaz très riche à cause de sa haute teneur en méthane et hydrogène. Il se rapproche du gaz d'éclairage, et son pouvoir calorifique, qui n'est jamais inférieur à 3.500 calories, atteint souvent 4.500 calories. » (*Communication de Établissements J. Cockerill.*)

9. Gaz des hauts fourneaux. — *a) Historique de l'utilisation.* — Les gaz qui résultent de la production de la fonte renferment des éléments combustibles. Pendant longtemps ces gaz s'échappant dans l'atmosphère par le gueulard furent entièrement perdus. Depuis 1850, la chaleur dégagée par la combustion de ces gaz est employée à réchauffer l'air envoyé au fourneau. Mais on n'utilise ainsi que 40 à 50 0/0 de la production totale d'

meilleurs résultats ; elle est encore récente. En 1894, M. Thwaite envisagea le problème et tenta de le résoudre à la *Glasgow Iron and Steel Company* ; vers la même époque, les usines de Horde, en Allemagne, faisaient des essais dans le même sens. C'est surtout aux Etablissements Cockerill que revient l'honneur d'avoir rendu pratiquement réalisable ce grand progrès (décembre 1895).

b) Propriétés. — Dans un haut fourneau français, la production moyenne est de 100 tonnes de fonte par vingt-quatre heures⁽¹⁾. Elle nécessite environ 100 tonnes de coke métallurgique à 15 % d'eau et cendre. La production du gaz s'élève à 4.500 mètres cubes par tonne de fonte, et son pouvoir calorifique est de 900 à 1.000 calories.

Sa composition par mètre cube est la suivante :

CO.....	25	à 30	0/0 en volume
CH ⁴	0,5	à 4,5	0/0
H.....	4,5	à 2,5	0/0
CO ²	9	à 44	0/0
Az.....	62	à 55	0/0

Il nécessite environ les 8/10 de son volume d'air pour brûler.

c) Épuration. — Les gaz des hauts fourneaux entraînent avec eux une grande quantité de poussières (5 à 15 g par mètre cube) qui constitue un obstacle sérieux à leur utilisation. On s'en débarrasse d'abord par des laveurs, grands cylindres où les gaz cheminant de bas en haut sont soumis à une injection d'eau faite à la partie supérieure. Des ventilateurs à injection d'eau complètent l'épuration en abaissant la teneur en poussières à 0,4 ou 0,2 g par mètre cube de gaz.

III. — Fours et gazogènes

10. Définitions. — On désigne sous le nom de gazogènes les appareils destinés à transformer les combustibles solides en combustibles gazeux. Le nom de four est plutôt réservé au cas où la distillation d'un combustible s'effectue à l'intérieur

(1) Les hauts fourneaux des aciéries de Micheville produisent jusqu'à 475 tonnes de fonte par 24 heures.

de cornues chauffées extérieurement par un foyer où a lieu la combustion d'un autre combustible.

Les premiers gazogènes du type Siemens ne différaient guère d'un foyer ordinaire que par l'épaisseur du combustible. Ils se construisait avec ou sans grille et produisaient à une haute température du gaz à l'air ou gaz Siemens. La connaissance du gaz à l'eau donna lieu à de nouveaux modèles dans lesquels les deux sortes de gaz étaient produits alternativement. Actuellement, c'est un mélange d'air et de vapeur d'eau qui réagit sur le carbone incandescent, sauf à l'allumage, qui se fait à l'air seul. Outre les fours, dont nous étudierons un spécimen, il existe deux classes de gazogènes :

1^o Les gazogènes soufflés, dans lesquels l'air et la vapeur d'eau sont injectés sous pression ;

2^o Les gazogènes par aspiration, dans lesquels la marche des gaz est assurée par une dépression produite dans les appareils soit par le moteur lui-même (types les plus répandus), soit par un ventilateur extracteur.

Le mot gazogène est synonyme de générateur de gaz.

41. Gazogène autoréducteur à double combustion Riché (fig. 1). — a) Description. — C'est un gazogène soufflé qui se compose essentiellement de deux cuves B et C réunies à leur base par un carneau P. Les parois sont en matériaux réfractaires revêtus extérieurement d'une chemise en tôle et fonte. Une couche d'amianto intercalée entre les matériaux réfractaires et l'enveloppe métallique forme calorifuge et s'oppose aux pertes de chaleur comme à la détérioration du métal.

La cuve de combustion B comprend la trémie de chargement S, le corps et le foyer O muni de la grille g sur laquelle brûle le combustible grâce à l'air primaire soufflé arrivant par une conduite b qui débouche à la partie supérieure du cadre de porte de foyer Q.

Les produits de la combustion : CO, CO², H, Az, passent dans la colonne de réduction C garnie de coke ou de charbon de bois,

Une entrée d'air secondaire *c*, placée dans la région médiane

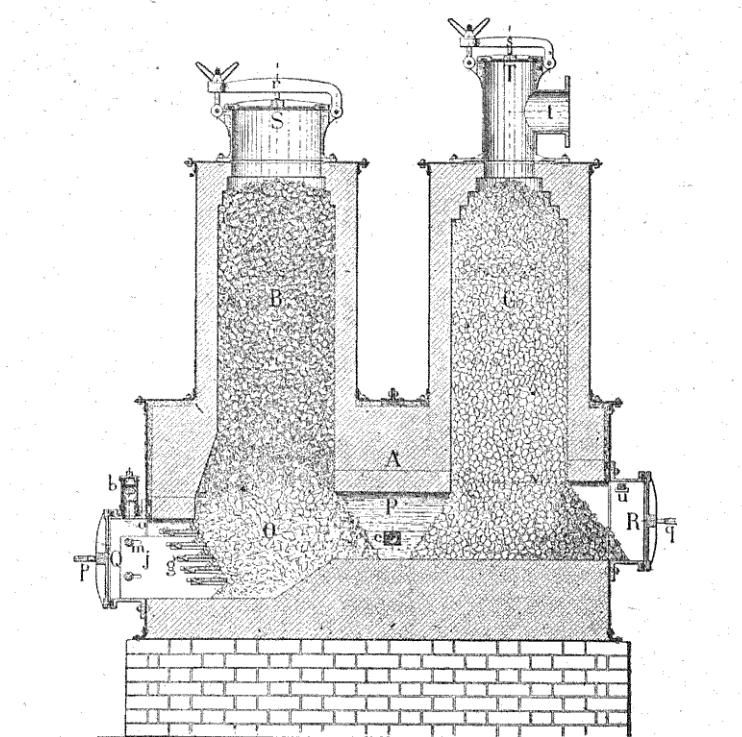


FIG. 1. — Coupe du gazogène autoréducteur à double combustion.

A, caisson ;	<i>g</i> , grille du foyer ;
B, trémie de chargement ;	<i>j</i> , flasques de foyer ;
C, trémie de réduction ;	<i>m</i> , boulons de fixation des flasques ;
O, foyer ;	<i>o</i> , arrivée d'eau ;
P, carneau (zone de deuxième combustion) ;	<i>p</i> , étrier de porte de foyer ;
Q, porte et cadre de foyer ;	<i>q</i> , étrier de porte de réduction ;
R, porte et cadre de réduction ;	<i>r</i> , étrier de tête de chargement ;
S, tête de chargement ;	<i>s</i> , étrier de tête de sortie de gaz ;
T, tête de sortie de gaz ;	<i>t</i> , tubulure de sortie de gaz ;
b, air primaire ;	<i>u</i> , soutien de fausse grille ;
c, air secondaire ;	<i>v</i> , fausse grille.

du carneau *P*, assure la combustion des carbures d'hydrogène distillés dans la cuve *B*. La chaleur ainsi produite porte au

rouge le charbon de la colonne C, qui provoque la réduction

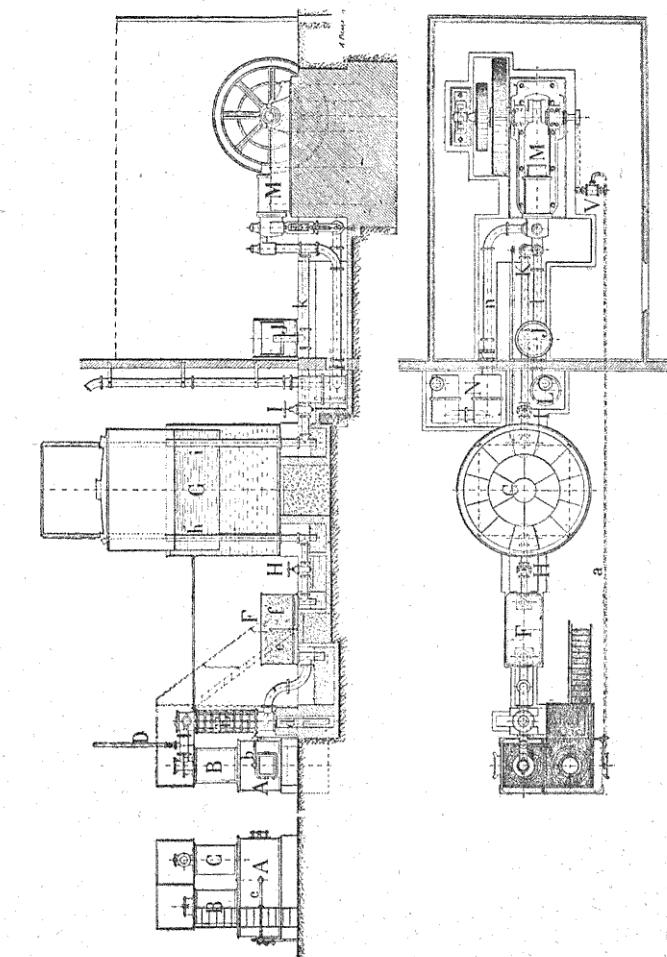
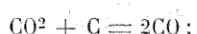


FIG. 2.

des produits non dissociés :



Si les combustibles ne produisent pas d'hydrocarbures

L'entrée d'air secondaire *c* sert au maintien de la température de la colonne C.

Le décrassage des grilles et les nettoyages s'opèrent par les portes Q et R.

Quand on emploie du bois qui renferme une certaine quantité d'eau, il est inutile d'en ajouter ; au contraire, avec le coke et les houilles maigres, on fait arriver un filet d'eau sous la grille. Cette eau se vaporise, s'oppose à une trop grande température et donne en se dissociant des gaz riches en pouvoir calorifique [réaction (4), n° 5].

b) Fonctionnement. — Les gaz sortent par le tube *t* ; à la mise en marche, ils sont évacués par la cheminée d'allumage D jusqu'à ce qu'ils soient combustibles, ce dont on s'assure par un robinet d'essai. Alors on ferme la cheminée D, les gaz se rendent au laveur E (fig. 2) constitué par une série de plateaux à l'intérieur desquels se trouve une nappe d'eau constamment renouvelée dans laquelle barbotent les gaz. Ceux-ci traversent ensuite l'épurateur filtre-mousse F rempli de mousse végétale tassée à la main, qui arrête les traces de poussières, de goudrons et de vapeur d'eau ayant échappé à l'action du laveur E. De là les gaz se rendent au gazomètre G et au moteur M après avoir traversé une cloche J appelée antipulsateur ou poumon.

La cuve du gazomètre est généralement utilisée comme réservoir d'eau pour le lavage du gaz et le refroidissement du moteur ; une pompe en assure la circulation.

c) Avantages. — Les gazogènes soufflés sont moins employés que ceux qui fonctionnent par aspiration directe du moteur sur le générateur ; leurs frais d'installation sont plus élevés. Cependant ce sont les seuls qui permettent d'utiliser les combustibles les plus divers. Ils consomment par cheval-heure effectif environ :

450 à 500 ^g d'anthracite ou de houilles maigres à.	8.000 calories
600 à 650 ^g de charbon médiocre à.....	6.000 —
650 à 1.300 ^g de tourbes et lignites de.....	3.000 à 6.000 —
550 à 650 ^g de coke et grésillon à.....	7.000 —
700 à 800 ^g de poussier de coke à.....	6.000 —
1.400 à 1.700 ^g de déchets de bois, sciure, copeaux.	
1.500 à 1.900 ^g de paille, grignons d'olives, écorces d'amandes.	

12. Gazogène par aspiration Otto (fig. 3). —

a) Description. — Comme la plupart des gazogènes par aspiration, celui que construit la *Société française de construction mécanique et d'industrie automobile* se compose de deux parties essentielles : le générateur et l'épurateur.

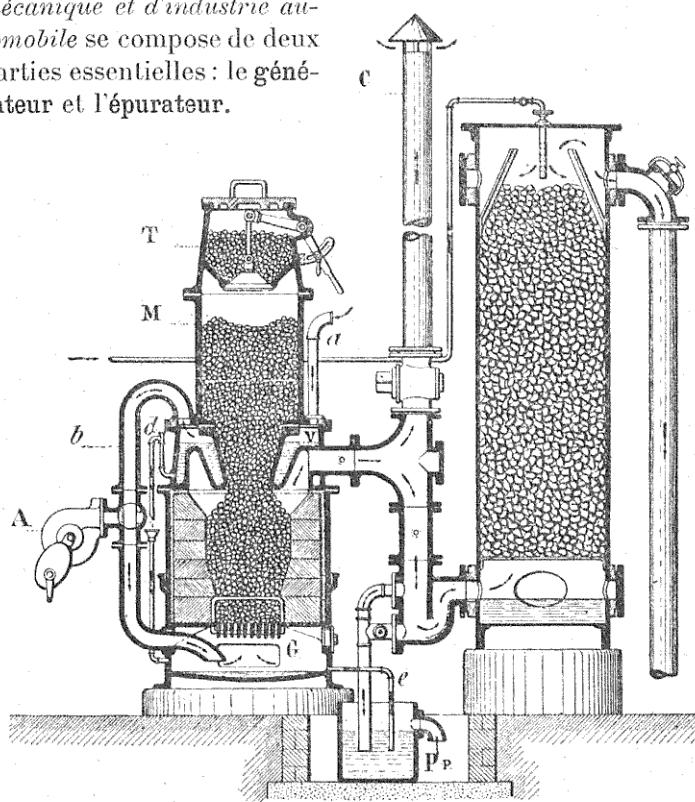


FIG. 3.

Le générateur comprend de haut en bas :

1^o La trémie de chargement T, munie de deux obturateurs pour empêcher toute rentrée d'air au moment de l'introduction du combustible ;

2^o Le magasin de combustible M, qui assure une marche régulière de l'appareil malgré des intervalles de plusieurs heures entre les chargements ;

3^e Le vaporisateur V ;

4^e La cuve du générateur, constituée par un cylindre métallique garni intérieurement de matériaux réfractaires, dont il est séparé par une couche d'amiante ;

5^e La grille G, sur laquelle s'opère la combustion ;

6^e Le cendrier, dans lequel arrive l'air chargé de vapeur d'eau.

L'épurateur comprend :

1^e Le barillet, cylindre à moitié rempli d'eau dans lequel le gaz barboté et où se dépose un goudron épais ;

2^e Le scrubber à coke, à la partie supérieure duquel l'eau injectée en fines gouttelettes, s'écoule à l'encontre des gaz, qui achèvent de s'épurer.

b) Fonctionnement. — « La dépression produite par l'aspiration du moteur provoque un appel d'air qui pénètre dans le générateur par la tubulure a. Cet air traverse le vaporisateur chauffé par les gaz produits, s'y charge de la vapeur d'eau nécessaire à la production du gaz hydrogéné, et se rend sous la grille par la tubulure b. Traversant ensuite la colonne de combustible incandescent, il se transforme en gaz pauvre. Après avoir cédé une partie de sa chaleur au vaporisateur, il est conduit par le tube c à la partie inférieure de l'épurateur. Dans son passage à travers la colonne à coke, il se débarrasse de ses diverses impuretés, goudrons, poussières, acides, et se rend ensuite dans le pot-poche, dont le but est d'amortir les brusques variations de pression dues aux aspirations du moteur.

« Une conduite extérieure alimente en eau le vaporisateur, dont le trop-plein s'écoule par la tuyauterie d. L'excès d'eau est conduit dans le cendrier, où la vapeur produite contribue au refroidissement et à la conservation de la grille. Le trop-plein du cendrier est à son tour conduit par le tube e dans le pot de trop-plein P.

« Pour la mise en marche du gazogène, un ventilateur d'allumage A, commandé à main ou mécaniquement, chasse l'air nécessaire à travers la colonne de combustible, les produits impurs étant à ce moment évacués à l'extérieur par la cheminée d'allumage C. »

13. Gazogène par aspiration Glaenzer, Perreaud et Thomine (fig. 4). — *a) Description.* — 1° Le générateur comprend un *foyer* formé d'un cylindre en tôle A revêtu intérieurement d'une garniture en briques réfractaires B, reposant sur une grille en fonte C. Les portes D du foyer A et F du cendrier E permettent le nettoyage. La *trémie de chargement* H et le vaporisateur G occupent la même position que dans le gazogène Otto. L'admission de l'air se fait en I et l'air chargé de vapeur arrive par la *conduite* J dans le cendrier E. Un *ventilateur à main* L sert à l'allumage. La *tuyauterie* NZRS conduit à l'épurateur le gaz produit dans le foyer;

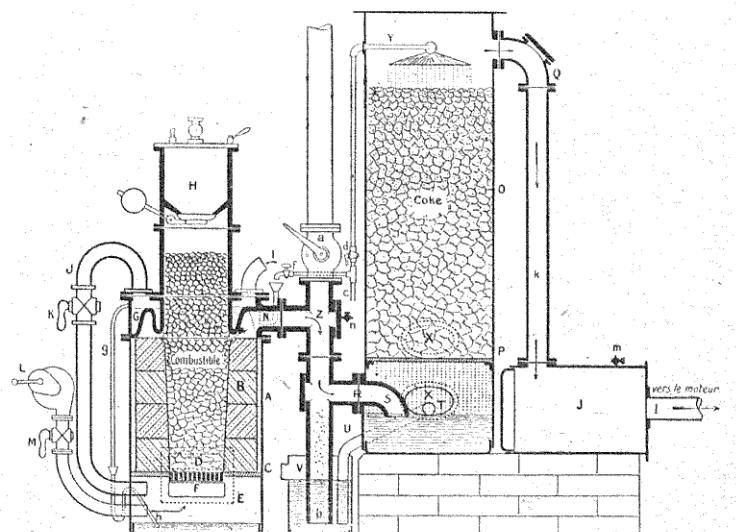


Fig. 4.

2° Le *laveur-épurateur* est formé d'un cylindre en tôle O, à la base duquel se trouve une grille P. Celle-ci supporte du coke de fonderie assez gros sur lequel est faite une injection d'eau en pluie ;

3° Le *pot d'aspiration* J placé entre le scrubber et le moteur assure à celui-ci une marche régulière.

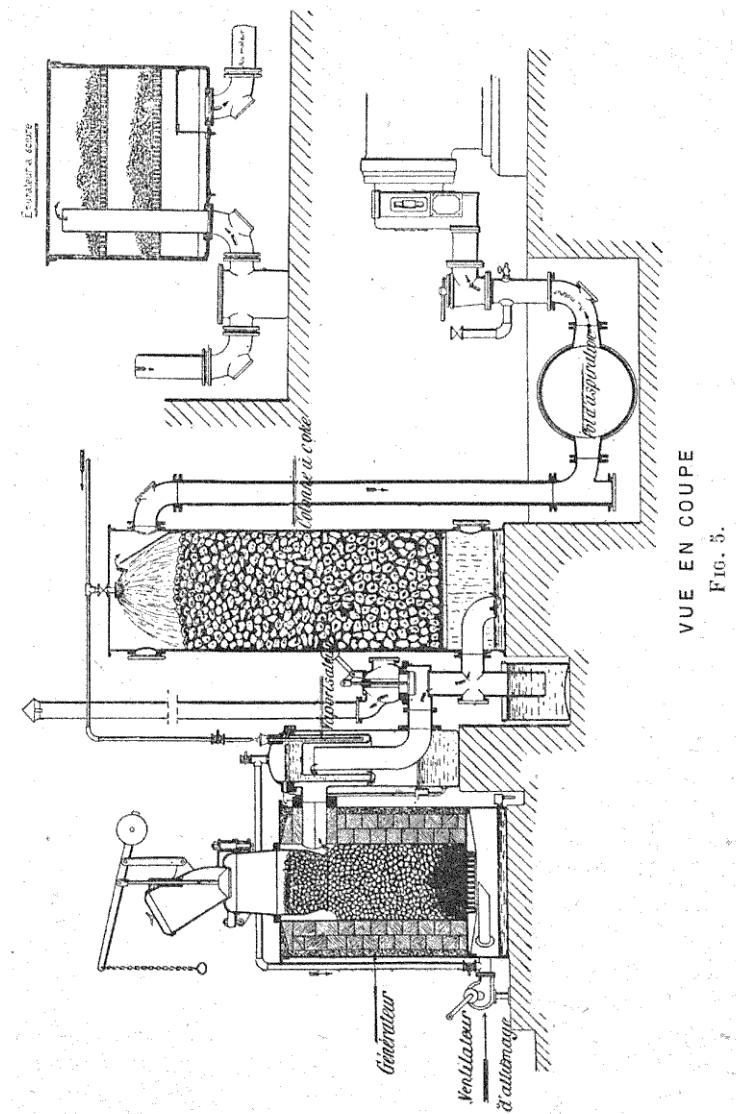
b) **Mise en train.** — « On dispose sur la grille du gazogène une couche de bois, ou mieux, de braise que l'on allume ; la fumée sort par la cheminée, dont le robinet est ouvert pendant cette opération.

« Dès que le bois est enflammé, on verse par la trémie une petite quantité de combustible, de façon à constituer une *couche de faible épaisseur* dans le foyer, dont on ferme à ce moment les portes. On ventile ensuite de façon à *porter le charbon à l'incandescence*, puis on continue progressivement le chargement du combustible, en assurant en même temps la ventilation jusqu'au moment où le gaz allumé aux robinets témoins *m* et *n* donne une *flamme longue, d'un bleu rougeâtre*. Cette teinte indiquant que le gazogène produit à ce moment du *bon gaz*, on peut donc mettre en route le moteur.

c) **Fonctionnement.** — « Les indications qui précédent ayant été observées, le moteur mis en marche produit dans le gazogène une dépression qui assure, au temps de sa course d'aspiration dans ce dernier, sous l'influence de la pression atmosphérique (la soupape du gaz étant ouverte), l'afflux par la tubulure I de l'air extérieur. Celui-ci traverse l'évaporateur en se chargeant de vapeur d'eau, pénètre dans le cendrier, au-dessous du foyer, par la tubulure J, traverse la couche de combustible incandescent et, à ce contact, par suite de la réaction chimique, assure la production de gaz pauvre qui s'échappe du gazogène par la tubulure N. Ce gaz pénètre par la tubulure S dans le laveur où il abandonne, en traversant la couche d'eau de coke humide et la pluie d'eau, les poussières, matières goudronneuses, ammoniacales et autres impuretés dont il est chargé. Ainsi purifié, il sort en Q pour se rendre dans le pot d'aspiration, et de là au moteur.

« Semblable phénomène se produit automatiquement chaque fois que, sous l'influence du régulateur, la soupape de gaz étant ouverte, le moteur aspire dans le gazogène. C'est donc la production de gaz continu ainsi assurée de façon tout à fait économique, puisque le volume du gaz produit est fonction des besoins du moteur. »

14. Gazogène Munzel-Piguet (fig. 5). — Il comprend



les mêmes organes que les précédents ; mais la disposition du

Fig. 6. Coupe suivant AB

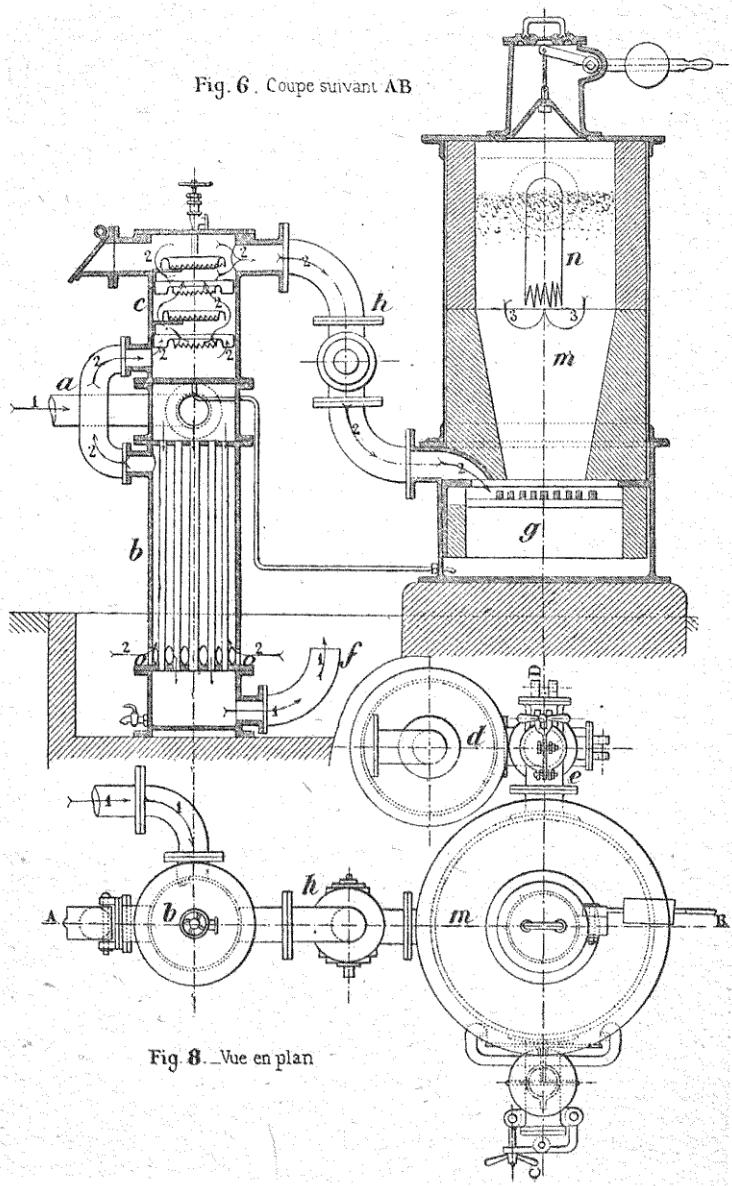
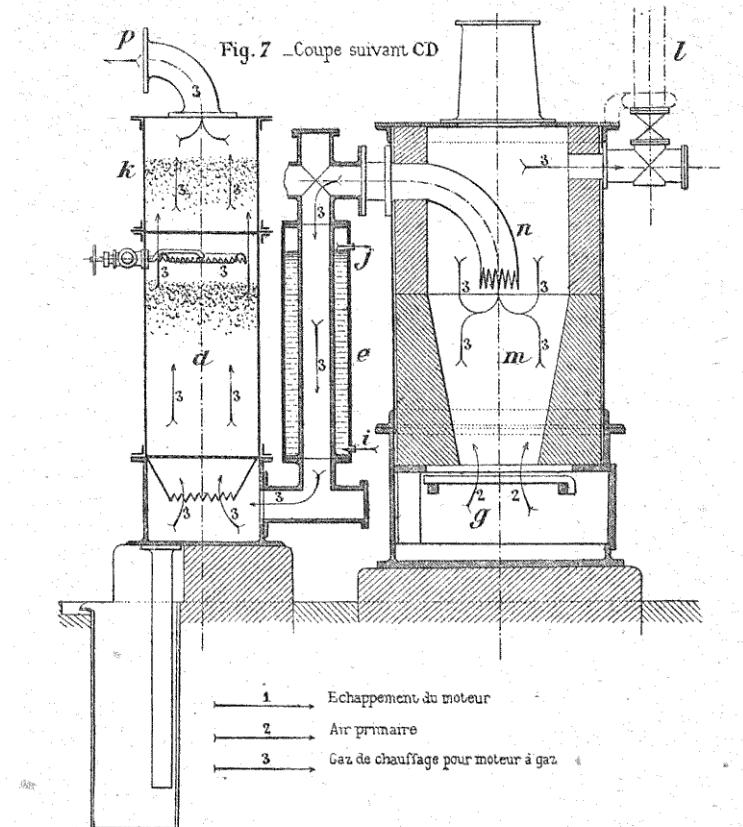


Fig. 8. Vue en plan



vaporisateur est différente. Celui-ci est chauffé non pas par le foyer, mais par le gaz à haute température sur le parcours duquel il se trouve. L'air venant de l'atmosphère traverse d'ailleurs le vaporisateur avant de se rendre au cendrier.

En outre, un épurateur à sciure de bois est prévu pour enlever aux gaz, sur leur parcours entre le scrubber et le moteur, les dernières parcelles de goudron et d'humidité qu'ils peuvent encore contenir.

15. Gazogène aérydrique par aspiration Lencauchez (*fig. 6, 7 et 8*). — Pour donner une idée de la variété des procédés employés pour fabriquer les gaz pauvres, nous représentons une installation dans laquelle on récupère une partie de la chaleur perdue par le moteur à gaz.

a) Description. — L'installation comprend trois parties essentielles :

1° Le *gazogène* proprement dit *m* avec sa grille, sa trémie de chargement, sa cheminée d'allumage *l* et une *prise de gaz centrale n* ;

2° Un *réchauffeur d'air b* surmonté d'un saturateur de vapeur d'eau *c* ;

3° Un *laveur sécheur du gaz d*, dans lequel le gaz est épuré après avoir traversé un *réchauffeur vaporisateur d'eau e*.

b) Fonctionnement. — Les gaz d'échappement du moteur (1), qui sont à une température élevée, 300°, arrivent par la tubulure *a*, traversent le réchauffeur d'air *b* à l'intérieur d'un faisceau tubulaire et sont évacués en *f*.

L'*air* (2) est admis dans le récupérateur par les orifices *o*, il contourne le faisceau tubulaire et s'échauffe avant de passer dans le saturateur *c*, où il se charge de vapeur d'eau. De là, il se rend dans le cendrier *g* par la conduite *h*.

Le *gaz* (3) produit dans le générateur traverse à sa sortie le vaporisateur *e* renfermant l'*eau de circulation du moteur à gaz*. Cette eau, qui est déjà à une température voisine de 50°, arrive en *i*, s'échauffe au contact du gaz qu'elle refroidit de 700 à 300° environ, se vaporise en partie et la vapeur produite sort en *j* pour aller au saturateur *c*. Le gaz (3) est ensuite épuré dans un laveur épurateur *d* surmonté d'un sécheur *k* avant de se rendre au moteur par la tubulure *p*.

16. Installation de force motrice avec gazogène par aspiration (*fig. 9*). — *a)* La disposition des différents appareils est suffisamment indiquée par la figure 9 et sa légende. Nous ferons seulement remarquer qu'il n'est pas nécessaire d'installer un gazomètre.

b) Avantages. — A cause de sa grande simplicité, le sys-

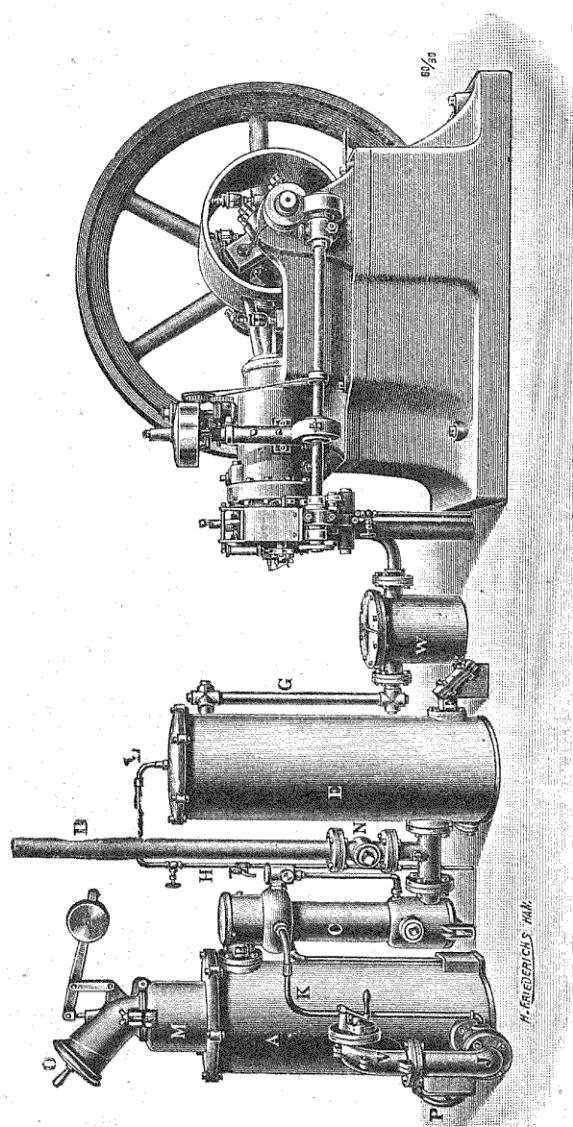


FIG. 9. — Moteur à gaz et gazogène Kœrling, breveté S. G. D. G.

ogène; — B, départ du gaz; — C, vaporisateur; — D, tuyau de sortie du gaz; — E, scrubber; — F, évacuation de l'eau de oxygène; — G, tuyau de gaz allant au moteur; — H, arrivée d'eau pour le vaporisateur; — J, arrivée d'air et de vapeur dans le gazogène; — K, tuyauterie de vapeur; — L, arrivée d'eau dans le scrubber; — M, robinet de fermeture; — N, robinet de fermeture; — P, tampon de nettoyage; — V, ventilateur d'allumage; — W, séparateur d'eau.

tème à gaz aspiré tend à se généraliser de plus en plus. Les gazogènes ont un rendement égal aux meilleurs générateurs de vapeur de grande puissance, 75 à 80 % ; ils ne produisent aucune fumée et nécessitent une surveillance insignifiante. Ils peuvent brûler à petit feu pendant la nuit et la mise en marche se fait alors en dix minutes le matin. En dehors des chargements qui peuvent se faire à plusieurs heures d'intervalle et de quelques décrassages, il n'y a pas de main-d'œuvre. Enfin la consommation de combustible est minime ; elle est inférieure à celle des générateurs et occasionne parfois une économie de 40 à 50 % dans les installations de petites puissances ($P < 60^{\text{sh}}$).

c) **Inconvénients.** — 1^o *La marche d'un gazogène peut être contrariée par la formation de mâchefers et par les cendres fusibles qui souvent obstruent les grilles ou constituent des voûtes empêchant toute descente du combustible.* D'où la nécessité d'employer des combustibles de choix, renfermant peu d'impuretés. Assez souvent on les crible et on les lave. L'humidité du charbon, on le conçoit, n'est aucunement nuisible ;

2^o *La marche du moteur peut être contrariée par le dépôt de goudrons vésiculaires,* que l'épuration décrite peut être insuffisante à faire disparaître. Une allure très chaude obtenue par des dispositions spéciales permet d'éliminer ces goudrons, qui se décomposent au-dessus de 900°. M. Lencauchez accouple deux gazogènes A, B, et fait passer alternativement le gaz de A dans B et de B dans A ; la température du gazogène est alors considérable. Mais, dans les installations ordinaires, l'anthracite et les charbons maigres conviennent seuls.

A cause de ces raisons et pour les grandes puissances, les gazogènes par aspiration ne sont pas toujours applicables. Les gazogènes soufflés et même les machines à vapeur pourront être plus avantageux.

d) **Consommation de combustible.** — Elle est environ de 450^s d'anthracite à 45 francs la tonne, ou 500^s de houille maigre ou 600^s de coke à 7.000 calories, par cheval-heure indiqué.

17. Four à gaz de bois à distillation renversée

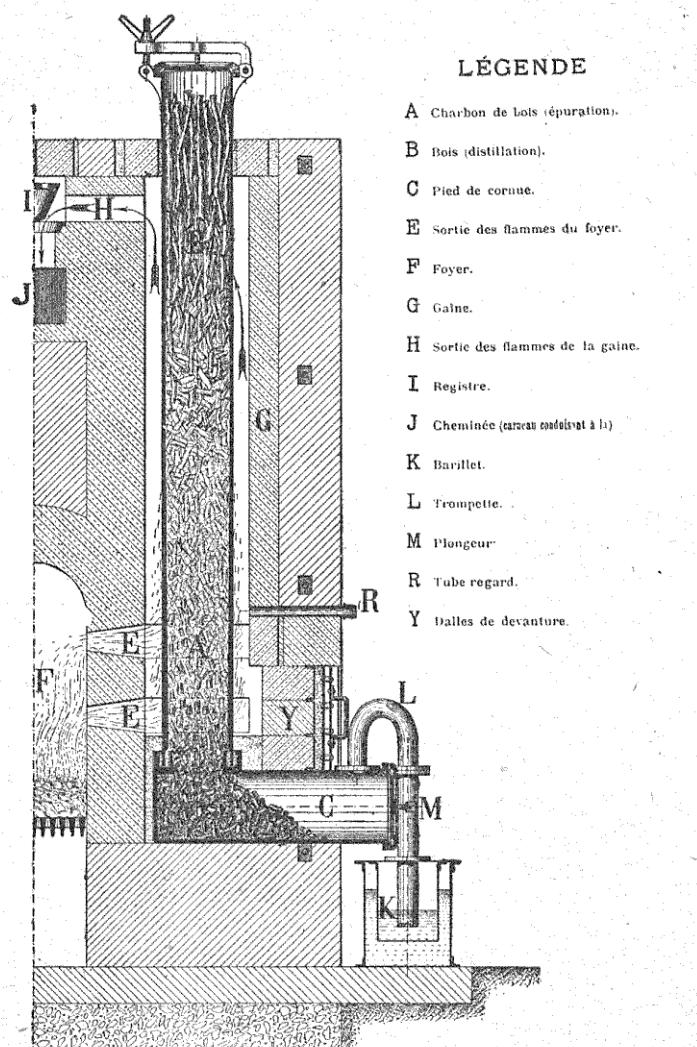


FIG. 10.

H. Riché. — a) Description (fig. 10). — « Un four à gaz est

constitué par le groupement dans un même massif de maçonnerie d'un certain nombre de *cornues cylindriques* AB, en fonte, disposées verticalement, le *foyer* F destiné à les chauffer étant ménagé à l'intérieur du massif.

« Chaque cornue repose par son propre poids dans une *gorge circulaire* d'un récipient cylindrique C également en fonte et appelé *pied de cornue*.

« Les cornues et les pieds de cornues sont fermés hermétiquement au moyen de portes ou *tampons de fermeture*. Les gorges des pieds de cornue dans lesquelles s'emboitent les extrémités inférieures des cornues sont garnies d'un mastic spécial constitué par des quantités égales de silicate de soude et de fibre d'amianté fortement triturées. Ce mastic durcit au feu et forme joint.

« La partie inférieure A des cornues est garnie, sur une hauteur de 90^{cm} à 1^m, du charbon de bois, résidu de la distillation précédente.

« La partie supérieure B est remplie du bois à distiller.

« Les produits de la combustion dans le foyer F d'un combustible quelconque : bois, copeaux de bois, sciures, coke ou charbon, sortent du foyer par les orifices E. Ils s'élèvent dans les *gaines* G autour des cornues et s'échappent à la partie supérieure H vers le *carneau de fumée* J. Le tirage dans chaque gaine est réglé par le *registre* I. Il résulte de ce mode de chauffage que les cornues prennent une température décroissante de bas en haut. Le charbon de bois qui remplit la partie inférieure est à la température du rouge cerise (900° environ). Un *tube-regard* R, fermé à son extrémité par une plaque de mica ou de verre, permet au chauffeur de surveiller la température de chaque cornue et d'en régler au besoin le chauffage au moyen du registre I.

« Les parois du foyer, des gaines et des carneaux, dans lesquels circulent les produits de la combustion, sont constituées par une épaisseur convenable de produits réfractaires. Les parois extérieures du four sont en briques ordinaires.

« L'ensemble, maintenu par des armatures en fer, est géné-

ralement recouvert par une toiture en tôle ondulée. Un ou plusieurs *barellets* K réunissent le gaz produit par les diverses cornues, ce gaz se rendant de là au *gazomètre*.

b) Fonctionnement. — « Le bois que l'on vient de charger en B, se trouvant exposé au rayonnement des parois intérieures de la cornue, qui atteint au plus la température du rouge sombre, distille lentement et fournit de façon régulière des gaz et des vapeurs. Ces gaz et ces vapeurs n'ayant aucune issue vers le haut de la cornue, sont obligés de traverser l'épaisse couche de charbon incandescent qui occupe la zone A. Ils subissent là une transformation chimique, les produits condensables étant ramenés à l'état de gaz permanents et l'anhydride carbonique, en grande partie, à l'état d'oxyde de carbone.

« On recueille dans le barillet K, après passage au travers des *trompettes* L et des *plongeours* M, des gaz épurés dont la composition est tout à fait constante. Le joint hydraulique du barillet K empêche tout retour du gaz en arrière quand on ouvre les cornues pour effectuer une nouvelle charge de combustible à distiller, ou les pieds de cornues pour retirer la charbon de bois en excès.

c) Avantages. — « Le four à gaz à distillation renversée ne nécessite ni laveur, ni réfrigérant, ni scrubber. Un simple épuiseur ou filtre renfermant de la mousse végétale suffit pour arrêter les traces de goudron ou de vapeur d'eau qui seraient entraînées. On facilite d'ailleurs la condensation de ces impuretés dans les barillets, en faisant traverser les cuves de ceux-ci par un courant d'eau (0¹,5 à 1¹ par mètre cube de gaz).

« La durée des cornues est de cinq à huit mois. Chaque cornue est susceptible de fournir par heure, suivant la nature du bois distillé, suivant l'expérience de l'ouvrier et le régime de marche continue du four, de 7 à 8^{m3} de gaz. »

d) Consommation de combustible. — Un moteur à gaz, en marche industrielle, consomme de 900 à 1.000^l de gaz Riché, suivant la puissance, par cheval-heure indiqué.

D'autre part, 4^{kg} de bois distillé par la combustion de 400^{kg} de houille ou de 4.600^{kg} de bois, sciure ou déchets, fournit 700 à 800^l de gaz à 3.000 calories, et laisse comme résidu 200^{kg}

de bon charbon de bois. Les débris de démolitions et les vieilles traverses de chemins de fer se comportent particulièrement bien à la distillation.

La tourbe peut également être distillée. Sur une tonne, on emploie 350^{kg} à la combustion, 650^{kg} à la distillation; il y a production de 360^{m³} de gaz à 3.250 calories et 145^{kg} de coke de tourbe à 6.250 calories.

Les grignons d'olives sont également employés.

EXERCICES A RÉSOUDRE

I. — Un gazogène donne 5^{m³} de gaz à 4.200 calories par kilogramme de charbon à 8.000 calories; quel est son rendement thermique?

II. — Le prix du mètre cube de gaz à 5.100 calories est de 0 fr. 17 et le charbon à 8.250 calories coûte 28 francs la tonne. Sachant que le rendement thermique d'un gazogène est 80 0/0 et que la gazéification coûte 10 0/0 du prix du combustible, on demande s'il y a avantage à acheter un gazogène ou à employer le gaz d'éclairage.

III. — Un gazogène autoréducteur à double combustion Riché a consommé: 908^{kg} de copeaux de bois et 37^{kg} de coke contenant:

	Copeaux de bois	Coke
Carbone fixe.....	18,29 0/0	74,3 0/0
Matières volatiles.....	69,85	2,7
Cendres.....	0,36	43,7
Humidité.....	44,50	12,3
Puissances calorifiques.....	3.910 calories	5.850 calories

Le gaz a donné à l'analyse la composition en volumes suivante :

CO	H	CH ⁴	CH ²	CO ²	O	Az	Puissance calorifique
17,93 0/0	11,81	2,81	0,4	13,15	0,03	54,43	4.097 calories au m ³

Calculer : 1^e le poids de C contenu dans le CO et le CO² par mètre cube de gaz ; 2^e le volume de gaz total produit; 3^e le rendement du gazogène.

IV. — Un gazogène Pierson est alimenté avec du charbon à 7.520 calories dont la composition en poids est la suivante :

Humidité.....	4,93 0/0	Matières volatiles.....	6,10
Cendres.....	11,47	Carbone fixe.....	80,50

Le gaz produit a une composition en volumes de :

Oxyde de carbone CO.	17,70 0/0	Gaz carbonique CO ²	8,70
Hydrogène H.....	21,30	Oxygène O.....	0,50
Méthane CH ⁴	2,40	Azote Az.....	49,40

et un pouvoir calorifique de 1.470 calories. Déterminer : 1^e le poids de C pur contenu dans le CO et le CO₂ par mètre cube de gaz; 2^e le volume de gaz produit par 1 kilogramme de charbon à 80,50 0/0 de C; 3^e le rendement thermique du gazogène.

V. — Un gazogène Siemens est alimenté avec une houille maigre d'Anzin qui renferme, en poids : 3,6 0/0 d'humidité H₂O, 3,2 0/0 de forméne ou méthane CH₄, 4,1 0/0 de cendres et 89,4 0/0 de carbone fixe C. Le gaz obtenu contient de l'oxyde de carbone CO et de l'anhydride carbonique CO₂, dont les volumes sont dans le rapport de 8 à 1. Il contient en outre le carbure non décomposé CH₂, l'hydrogène H provenant de la dissociation de l'eau hygroscopique, et l'azote Az de l'air comburant que l'on suppose pur et sec. On demande : 1^e la composition, le pouvoir calorifique et le volume total des gaz obtenus avec une tonne de houille; 2^e la température moyenne dans le gazogène en admettant une perte de 8 0/0 par les parois et une chaleur spécifique de la masse totale de 0^{cal},23 par kilogramme-degré; 3^e le rendement thermique du gazogène. (On prendra le pouvoir calorifique de CH₄ égal à 12.000 calories, celui de l'hydrogène 34.400 et celui du carbone 8.080.)

VI. — Un gazogène Otto, alimenté avec la même houille est soufflé, à l'aide d'un mélange à poids égaux d'air et de vapeur d'eau. Les 70 0/0 de cette vapeur sont dissociés ; le gaz produit renferme 4 volumes de CO pour 1 volume de CO₂. Calculer : 1^e la composition, le pouvoir calorifique et le volume total des gaz obtenus avec une tonne de houille; 2^e la température moyenne du gazogène en admettant une perte de 5 0/0 par les parois et une chaleur spécifique de la masse totale de 0^{cal},23 par kilogramme-degré; 3^e le rendement thermique du gazogène.

VII. — Avec une houille sèche à longue flamme, type flénu de Marles, dont la composition en poids est la suivante :

Humidité H ₂ O.....	2 0/0	{
Méthane CH ₄	33	
Carbone fixe C.....	58	
Cendres.....	5	

on a obtenu dans un gazogène Deschamps un gaz à 1.260 calories qui renferme en volumes :

Oxyde de carbone CO.....	44,7 0/0	{
Hydrogène H.....	45	
Méthane CH ₄	3,7	
Gaz carbonique CO ₂	5,5	
Oxygène O.....	1,9	{
Azote Az.....	59,2	

On demande de calculer, d'après la teneur totale en carbone : 1^e le volume de gaz produit par 1 kg de houille; 2^e le rendement du gazogène.

VIII. — Les aciéries d'Outreau, près de Boulogne-sur-Mer, produisent par haut fourneau 100 tonnes de fonte hématite par vingt-quatre heures. Cette fonte renfermant 4 0/0 de carbone est obtenue en chargeant, outre 1

de coke à 42 0/0 de cendres et 4 0/0 d'humidité. Sachant que le gaz contient 11 0/0 de CO_2 et 28 0/0 de CO, calculer, d'après la teneur totale en carbone, le volume de gaz produit journellement.

IX. — Sachant que 40 0/0 de ce gaz alimentent un moteur Koerting à deux temps et double effet, qui consomme 3 m^3 de gaz par cheval-heure, on demande quelle est la puissance totale produite par 3 fourneaux.

IV. — Combustibles liquides

18. Pétroles. — *a)* Définition. — On appelle pétroles des combustibles naturels, liquides à la température ordinaire et constitués par un mélange de carbures d'hydrogènes divers, plus ou moins volatils. Ils peuvent contenir en outre des traces d'autres composés organiques.

Les pétroles se trouvent dans le sol et sont exploités aux États-Unis, dans la région du Caucase et en Roumanie.

b) Composition. — Lorsqu'on le soumet à la distillation, le pétrole émet des corps que l'on classe en trois catégories :

1° L'*essence de pétrole* ou *gazoline*, dont la densité est 0,70 à 0,75 et qui distille entre 70 et 120° ;

2° L'*huile lampante*, dont la densité est 0,75 à 0,85 et qui distille entre 120 et 250° ;

3° Les *huiles lourdes*, dont la densité est 0,85 à 0,90 et qui distillent au delà de 250°.

Le pétrole brut renferme environ 87 0/0 de son poids de carbone et 13 0/0 d'hydrogène.

c) Propriétés, emploi. — L'*essence* est claire ; elle se gazifie et s'enflamme très facilement ; elle brûle sans donner de résidus, si l'air est en quantité suffisante. Un kilogramme d'*essence* renferme :

840^g de carbone exigeant :

$$840 \times \frac{32}{12} = 2.240^{\text{g}} \text{ d'oxygène} ;$$

160^g d'*hydrogène* exigeant :

$$160 \times 8 = 1.280^{\text{g}} \text{ d'oxygène.}$$

La combustion complète de 1^{kg} d'essence a donc lieu dans 3.520^s d'oxygène, soit :

$$3.520 \times \frac{100}{23} = 15.305^s \text{ d'air,}$$

ou

$$15.305 : 1,3 = 11.200^l \text{ environ d'air.}$$

Le *pouvoir calorifique* s'élève à 7.900 calories par litre et 44.200 calories par kilogramme. Le *prix* du litre est de 40 centimes.

A cause de ce prix élevé, l'essence est un combustible de luxe, peu économique et peu employé dans la production de la force motrice industrielle. Nous étudierons ultérieurement le moteur à essence ainsi que son application à l'*automobile*, à l'*aéronautique* et à l'*aviation*.

Le pétrole lampant est presque aussi riche en pouvoir calorifique : 40.500 calories par kilogramme, et coûte beaucoup moins cher : 25 centimes le litre environ et même 15 à 20 centimes acheté en gros.

Bien que ce combustible exige des carburateurs spéciaux avec dispositif de chauffage, il est très avantageux. Avec le *carburateur Claudel*, que nous décrivons ci-après, la consommation, lors des essais, a été de 0¹,69 par kilowatt-heure aux bornes.

D'autre part, avec les *moteurs Diesel*, la consommation est de 200 à 250^s par cheval-heure.

19. Alcools. — *a) Définition.* — L'*alcool éthylique* C²H⁶O ou *esprit-de-vin* est le résultat de la distillation des boissons fermentées. C'est un liquide incolore très avide d'eau. L'*alcool méthylique* CH³O ou *esprit-de-bois* provient de la fermentation de la cellulose.

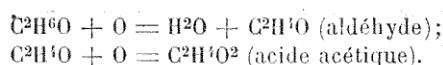
b) Propriétés. — L'alcool bout à 70°, sa densité est 0,8 ; c'est un dissolvant très énergique qui n'enrasse pas les cylindres ; il brûle complètement dans un excès d'oxygène :



Son *pouvoir calorifique* est de 7.000 calories.

L'alcool attaque un grand nombre de métaux, de sorte que les carburateurs doivent être uniquement en bronze de cuivre et de nickel.

D'ailleurs, si la température n'est pas assez élevée et s'il y a insuffisance d'oxygène, la réaction peut donner lieu à des corps corrosifs :



c) **Alcool dénaturé et carburé.** — L'*alcool absolu* n'est jamais employé ; il renferme toujours 5 à 10 0/0 d'eau.

Comme les droits que supporte l'alcool industriel sont beaucoup moins élevés, on le dénature en y ajoutant une proportion variable de produits nocifs.

Pour la force motrice, on emploie des alcools carburés :

1° A 50 0/0 d'alcool dénaturé à 90° et 50 0/0 de benzine de houille ;

2° A 75 0/0 d'alcool dénaturé à 90° et 25 0/0 de benzine de houille.

La benzine employée provient de la distillation des goudrons de houille.

L'emploi de l'alcool dans les moteurs serait excessivement intéressant au point de vue industriel et agricole, parce que c'est un produit de notre sol.

d) **Consommation.** — Elle s'élève à environ 0¹,800 par cheval-heure. D'autre part, le prix de l'alcool dénaturé est voisin de 0 fr. 40 le litre.

20. Carburateurs. — a) **Définition.** — Ce sont des appareils dans lesquels le combustible liquide est vaporisé ou pulvérisé de façon à entrer en contact intime avec l'air, auquel il se mélange d'une façon homogène. Le gaz ainsi obtenu est appelé air carburé. Si les proportions de combustible et de comburant sont convenables, l'air carburé peut servir à la production de la force-motrice dans les moteurs à explosion.

b) **Réchauffage des carburateurs.** — Il est absolument indis-

pensable pour l'emploi du pétrole lampant et de l'alcool. On l'obtient par trois procédés :

- 1° On utilise la chaleur perdue des gaz de l'échappement ;
- 2° On utilise la chaleur perdue de la lampe d'allumage ;
- 3° On utilise de l'air chaud.

21. Carburateur H. Claudel (fig. 11). — a) Description

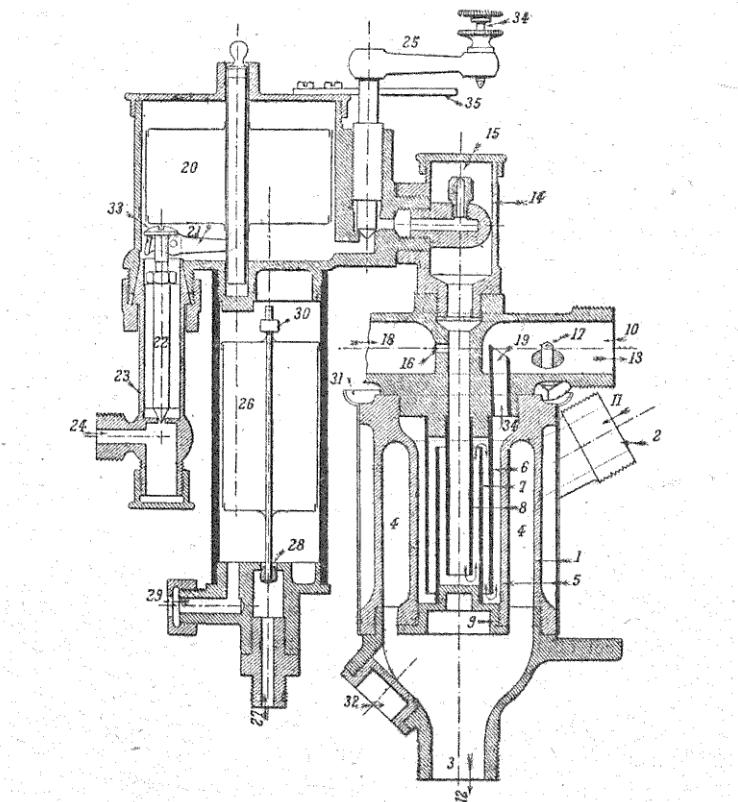


Fig. 11.

tion. — « L'appareil se compose d'un cylindre en fonte à formant double enveloppe, par suite de la venue d'une seule

pièce à son intérieur, et suivant son axe, de la cornue 5 dont le fond est fermé par un bouchon 9.

« L'enveloppe 4 porte une tubulure 2 par laquelle pénètre le gaz de l'échappement, qui circule ainsi dans la chambre annulaire 4 et s'échappe par la tubulure 3 formant support d'attache de l'appareil.

« L'enveloppe est munie à sa partie supérieure d'une boîte de mélange 40 formant la partie supérieure de la cornue 5. Cette boîte de mélange est constituée par une tubulure communiquant en 18 avec l'air extérieur, et en 13 avec la soupape d'aspiration du moteur. Elle porte en son centre un bossage percé d'un trou axial prolongeant la capacité de la cornue et par lequel un petit orifice 46 permet la communication de cette capacité avec la tubulure d'aspiration 18.

« La tubulure est dilatée à l'endroit du bossage et est munie de tubes mélangeurs 19, qui débordent dans la partie supérieure de la cornue.

« Le support du flotteur 14 surmonte la boîte de mélange et porte en son centre un gicleur d'arrivée de pétrole 45 alimenté sous niveau constant par le flotteur 20 réglant par le levier 21 et le pointeau 22 l'arrivée du pétrole fait en 24. »

b) **Mise en route.** — On chauffe la cornue 5 à l'aide d'une lampe à pétrole lourd introduite par le bouchon amovible 32 ; on ouvre le robinet à vis 25 ; le pétrole traverse le gicleur 45 lorsque l'on provoque trois ou quatre aspirations du moteur, et celui-ci atteint son régime de marche normale.

Si l'on possède de l'essence, la mise en route peut s'opérer à l'aide du carburateur auxiliaire 26-27-28-29-30, dont l'essence aspirée par le moteur gicle en 47.

c) **Fonctionnement.** — « La dépression produite par l'aspiration du moteur permet le passage de l'air de combustion dans la chambre du mélange suivant les flèches 18-13.

« Cette dépression se fait sentir dans la cornue et, par suite, sur l'ajutage, grâce aux tubes de communication 19.

« Le pétrole s'écoule donc par l'ajutage et gagne la cornue où il se vaporise dans le tube central 8 ; la vapeur formée de

surchauffage entre les tubes 7 et 8 et la dissociation s'effectue sur les parois de la cornue 5.

« La dépression à l'intérieur de la cornue permet l'introduction, par le petit orifice 46, d'une quantité d'air proportionnelle à la quantité de liquide introduit et, par suite, à la quantité de coke à transformer.

« On voit sur la figure 41 que l'orifice du gicleur 15 est séparé de la chambre de mélange (dans laquelle la dépression aspirative est très grande) par les tubes 49, 6, 7 et 8, qui produisent un étranglement ayant pour but de rendre la dépression sur le gicleur 15 moindre que dans la colonne d'aspiration ou chambre de mélange.

« La perte de charge due à ces étranglements augmente avec la vitesse d'écoulement, c'est-à-dire avec la dépression aspirative sensiblement proportionnelle à la vitesse du moteur.

« Il suffit, pour avoir la carburation constante à tous les régimes, de régler cette perte de charge ou étranglements, de telle façon qu'à grande vitesse aussi bien qu'à vitesse lente, la quantité de pétrole introduite soit toujours proportionnelle à la quantité d'air aspiré par le moteur, dans la proportion de 1^{kg} de pétrole pour 16^{kg},500 d'air.

« Cette condition de carburation constante est capitale pour toutes les applications dans lesquelles on demande au moteur de l'élasticité, comme dans l'automobilisme, la marine, la traction, ou des écarts de travail considérables, groupes électriques, industrie.

« Il arrive, en effet, qu'avec les carburateurs ordinaires à essence, on doit, pour les écarts de vitesse donnés, changer en même temps la carburation, c'est-à-dire, dès que la vitesse du moteur augmente, on doit augmenter l'air et *vice versa*, ceci dû à ce que les écoulements de liquide et d'air ne sont pas proportionnels.

« Grâce à ce dispositif, on peut faire tourner un moteur de 200 à 2.000 tours sans que la carburation varie et sans qu'il soit nécessaire d'effectuer aucun réglage. » (H. Claudel, *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils.*)

22. Carburateur « Astar » au pétrole lampant (*fig. 11 bis*). — Il comprend une boîte de réchauffage K traversée par une partie des gaz d'échappement venant du moteur. Ces gaz chauds lèchent la paroi F sur laquelle se brise le jet de pétrole provenant du gicleur C et entraîné par l'appel d'air pénétrant par la buse d'air D. L'air additionnel entre par l'orifice G contenant une soupape automatique H qui règle l'arrivée d'air proportionnellement à l'aspiration du moteur. Un flotteur B analogue au Longuemarre (*fig. 33*) assure au pétrole un niveau constant. Le mélange pulvérisé, puis gazéifié sur la paroi brûlante F, est aspiré par le moteur, et son admission est réglée par le papillon I obéissant aux injonctions du régulateur.

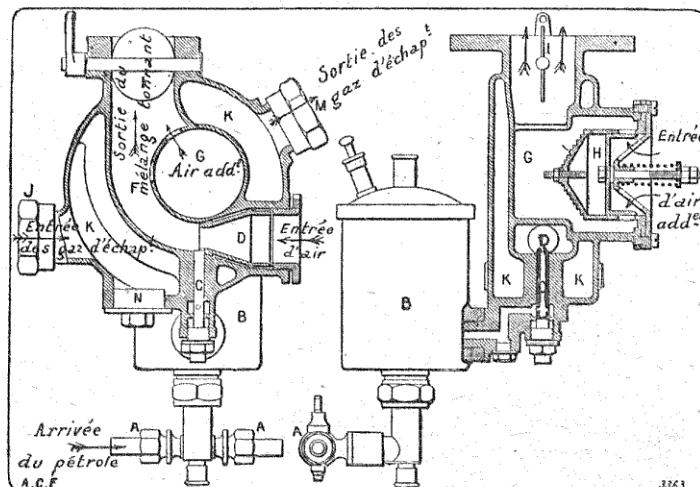


FIG. 11 bis.

La mise en marche peut s'effectuer soit au moyen d'un combustible auxiliaire (essence ou benzol), soit directement au pétrole lourd ($d = 0,825$).

Dans le premier cas, on utilise un petit réservoir auxiliaire et un robinet à trois voies A. Le liquide est amené au carbu-

eur en ouvrant le robinet dans la direction *Essence-carburateur*. On dirige tous les gaz d'échappement du moteur dans le réchauffeur.

Après quelques minutes de marche, le carburateur est assez chaud pour gazéifier le pétrole ; on ouvre l'arrivée de pétrole en fermant l'arrivée d'essence.

Pour partir au pétrole, on allume une lampe spéciale dont on introduit le bec en N pour que la flamme suive le trajet de chauffage du carburateur. Sitôt que la température de ce dernier est suffisamment élevée, revisser le bouchon N, admettre le pétrole dans le carburateur et le gaz d'échappement dans le réchauffeur. Pendant le départ, tenir fermée à la main la soupape d'air additionnel, pendant quelques tours, pour enrichir momentanément le mélange gazeux.

Ce carburateur fonctionne également avec l'*huile de schiste*, l'*alcool carbure* ou l'*alcool dénaturé* à 90°. Il suffit de changer le diamètre du gicleur.

L'utilisation du pétrole lourd et de l'huile de schiste permet de réaliser une économie de 40 à 50 % sur l'essence et écarte les risques d'incendie et d'explosion. Aussi les moteurs industriels au pétrole lourd se répandent de plus en plus ; on les emploie pour actionner directement des pompes multicellulaires, des alternateurs, des compresseurs d'air.

V. — Classification des moteurs à combustion interne

23. Cycle du fonctionnement. — Le cycle du fonctionnement d'un moteur est caractérisé par le nombre de courses simples (aller ou retour) qui sont effectuées pendant chaque phase motrice sur une même face du piston.

Chaque course constitue un temps. On dit qu'un moteur fonctionne suivant un cycle à *deux*, *quatre* ou *six temps*, selon qu'il se produit une phase motrice toutes les deux, les quatre ou les six courses du piston, c'est-à-dire tous les tours, les deux tours ou les trois tours de la manivelle et de l'arbre moteur.

Les moteurs sans compression sont à deux temps ; pendant

le premier, le mélange détonant est admis, puis enflammé ; l'explosion qui en résulte chasse le piston en *A*. Au retour, dans la course *B*, les gaz brûlés sont expulsés. Ces moteurs ne sont plus employés.

Dans les moteurs avec compression préalable, l'air carburé est soumis, avant son inflammation, à une forte pression qui favorise l'explosion et améliore le rendement (n° 27).

Moteurs à combustion. — Ils fonctionnent suivant le cycle à quatre temps, mais *l'air pur seul est aspiré* pendant la première course du piston et *comprimé* pendant la seconde, tandis que, dans les moteurs à explosion, c'est le *mélange carburé* d'air et de pétrole (ou d'autre combustible) qui subit ces deux phases du fonctionnement.

Ce n'est qu'au début de la troisième course, alors quell'air a atteint une pression et une température considérables, que l'on injecte graduellement le combustible qui est le pétrole. Celui-ci s'enflamme et brûle en maintenant la pression sensiblement constante.

Comme l'explosion est au contraire caractérisée par une augmentation énorme et brusque de la pression, on a caractérisé ces nouveaux moteurs en disant qu'ils sont à **combustion**.

24. Dispositions diverses du cylindre. — Selon que l'action des gaz s'exerce sur une seule face du piston ou sur les deux, les moteurs sont à simple effet ou à double effet.

Ils sont **monocylindriques** ou **polycylindriques**, suivant qu'il existe un seul cylindre ou plusieurs accouplés.

Ils sont **horizontaux** ou **verticaux** suivant la direction de l'axe des cylindres.

Deux cylindres sont disposés en **tandem** s'ils actionnent la même tige et la même manivelle; deux ou plusieurs cylindres sont **jumelés** s'ils sont disposés parallèlement pour actionner le même arbre par l'intermédiaire de coude disposés à 90° pour deux cylindres, 120° pour trois.

Pendant longtemps le moteur **horizontal monocylindrique à quatre temps et à simple effet** a été le seul réalisable et réalisé. C'est encore le plus répandu; mais on rencontre chaque jour

davantage les autres types, qui permettent d'atteindre une plus grande régularité et une plus grande puissance.

C'est surtout l'emploi des huiles minérales, la précision dans la construction mécanique et la fabrication des métaux à haute résistance qui ont donné un essor considérable aux moteurs à explosion en permettant de faire du double effet et d'aborder les très grandes puissances. En 1889, on ne voyait aucun moteur de 100^{ch}; actuellement ceux de 1.500^{ch} ne sont pas rares.

VI. — Moteurs à quatre temps

25. Fonctionnement du cycle à quatre temps.

— Pour fixer les idées, nous considérerons un moteur vertical à soupapes symétriques AE, commandées par les came C et D dont les arbres font respectivement un tour pour deux tours de l'arbre-manivelle O. La succession des quatre périodes suivantes se reproduit pendant toute la durée de la marche du moteur :

1^o Période d'aspiration (*fig. 42*). — Pendant la marche, grâce à la vitesse acquise par le volant, à sa puissance vive ($1/2 mr^2$), la manivelle franchit le point M et parcourt la demi-circonférence MM₁M₂; le piston, arrivé à son point mort haut ou R, PMH, change de sens, entraîné par la manivelle. La soupe d'échappement E reste appliquée sur son siège; la came C soulève la soupe d'admission A, qui livre passage au mélange carburé. Ce mélange se trouve aspiré dans le cylindre, dont le volume augmente par suite de la descente du piston qui accomplit sa première course A' directe ou descendante.

2^o Période de compression (*fig. 43*). — La soupe d'admission A, rappelée par un ressort R, retombe sur son siège; elle y reste appliquée ainsi que la soupe E, cependant que la manivelle, toujours sous l'impulsion du volant, franchit le point M₂, décrit la demi-circonférence M₂M₃M, et oblige le piston arrivé à son point mort bas ou A', PMB, à accomplir

sa première course R , ascendante ou rétrograde. Ce piston refoule dans la chambre de compression le gaz contenu dans le cylindre.

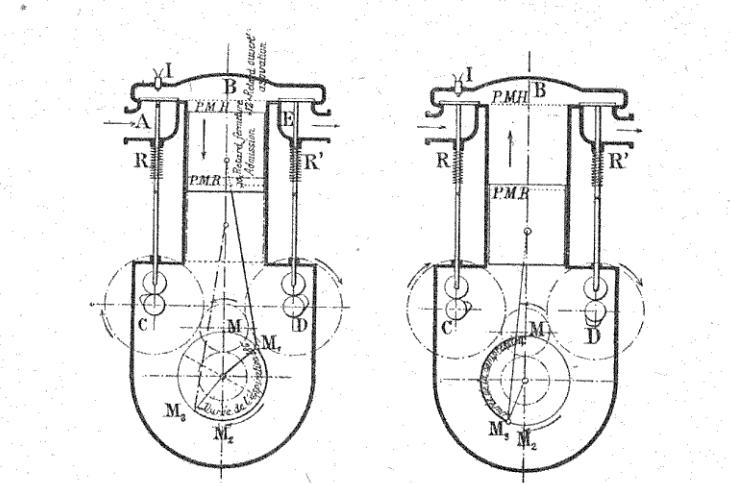


FIG. 12.

FIG. 13.

3^e Période d'allumage, explosion et détente (fig. 14). — Les deux soupapes restent appliquées sur leur siège; une étincelle électrique ou la flamme d'un brûleur I enflamme le mélange détonant d'air et de gaz préalablement comprimé. L'énorme température et la pression considérable qui résultent de l'explosion ont pour effet de pousser avec force le piston, qui accomplit sa deuxième course A' , directe ou descendante. Pendant cette course, qui est réellement motrice, c'est le piston qui actionne la manivelle parcourant de nouveau l'arc MM_2 . Une partie de cette force motrice T est emmagasinée par le volant, dont la vitesse augmente : $v' > v$:

$$T = \frac{1}{2} m(v'^2 - v^2).$$

Cet accroissement de puissance vive est suffisant pour assurer les trois autres courses; comme v' doit être peu diffé-

ent de v pour la régularité de marche, il est donc nécessaire que la masse du volant $m = \frac{P}{g}$ soit considérable.

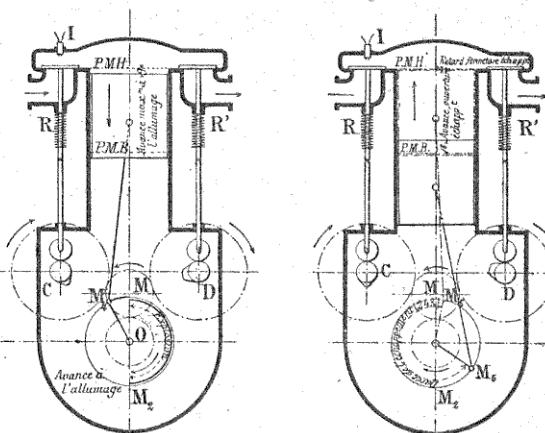


FIG. 14.

FIG. 15.

4^e Période d'échappement (fig. 15). — La soupape A reste appliquée sur son siège ; la came D soulève la soupape d'échappement E, qui livre passage aux gaz brûlés. Ces gaz sont chassés par le piston, qui accomplit sa deuxième course AR, ascendante ou rétrograde, sous l'action de la manivelle décrivant la demi-circonférence M_2M . A la fin de cette course, la soupape E est rappelée sur son siège par le ressort R'. Puis, un nouveau cycle recommence, et ainsi de suite.

26. Régulation de la distribution. — Les quatre périodes que nous avons décrites ne se produisent pas mathématiquement pendant une course de piston, pendant que la manivelle parcourt 180°. Il existe pour chacune d'elles une avance ou un retard dont nous expliquerons l'utilité :

1^e Retard à l'admission. — La came C est disposée de telle sorte qu'elle amène le soulèvement de la soupape d'admission A seulement quand le piston a parcouru 1/10 de sa première

course A' ; la manivelle est alors en M_1 . Il existe à ce moment une dépression plus sensible (vide partiel), qui assure une rentrée très nette du mélange carburé.

2^e Retard à la compression ou à la fermeture d'admission. — La soupape d'admission ne se referme qu'un peu après que le piston a franchi son point mort bas ou A , PMB, pour permettre une rentrée abondante de gaz; la manivelle est alors en M_3 .

3^e Avance à l'allumage. — C'est un dispositif qui permet l'inflammation du gaz comprimé avant l'arrivée du piston à son point mort haut ou A' , PMH. On opère ainsi afin de permettre à toute la masse combustible, dont l'inflammation n'a lieu que de proche en proche, de brûler et d'agir sur le piston avant qu'il n'ait accompli sa course motrice, qui est très rapide ($1/10$ de seconde pour un moteur tournant à 300 tours); la manivelle est en M_4 .

4^e Avance à l'ouverture d'échappement. — La soupape E est soulevée par la came D avant que le piston ait commencé sa deuxième course A' , afin d'éviter toute contre-pression; la manivelle est en M_5 .

5^e Retard à la fermeture d'échappement. — La même soupape E reste ouverte jusqu'à ce que la manivelle soit en M_6 pour éviter que des traces de gaz brûlés se mélangent au gaz admis.

27. Utilité d'une période de compression⁽¹⁾. — Calculons le travail maximum de détente que peut produire un certain volume de mélange gazeux $V = 80^l$ lorsque cette période n'existe pas ou existe.

Nous rappelons que le travail de détente est égal au produit du volume exprimé en décilitres ($S^{dm^3} \times l^m$) par la pression et le logarithme népérien du degré de détente. En admettant que l'explosion élève la température de manière à rendre la pression initiale 5 fois plus grande, on aura comme pression après l'explosion $p = 5^{atm}$ et, la détente la plus avantageuse étant $m = p = 5$:

$$T_1 = Vp \log_{10} p = 800 \times 5 \times \log_{10} 5 = 4.000 \times 1,6094 = 6,737^{k_{gm}},6.$$

Si l'on comprime à $k = 4^{atm}$ ce mélange avant l'explosion, le volume sera devenu $800 : 4 = 200$ et le travail correspondant absorbé:

$$T_2 = \frac{V}{k} \times k \log_{10} k = 200 \times 4 \log_{10} 4 = 800 \times 1,3863 = 4,106^{k_{gm}},04.$$

(1) Revoir tome II, n° 229 : Travail de détente.

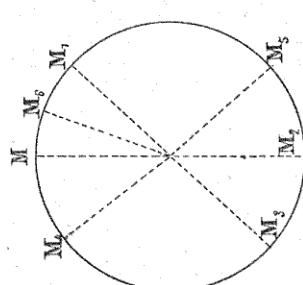


FIG. 16.

Chemins de fer de l'Etat Belge.
 $d = 460, L = 770$
 $n = 180 t$
 $m/m \bar{S} = 1Kg.$



FIG. 17.

ARBRE et MANIVELLE	COURSE de PISTON	NOM DE LA PÉRIODE	BOUTON de MANIVELLE		SÉUPAPES	
			D'ADMISSION	D'ÉCHAPPEMENT	D'ADMISSION	D'ÉCHAPPEMENT
1 ^{er} tour	1 ^{re} course A'	Retard à la fermeture d'échappement....	MM ₆	A fermée	E ouverte	
		Retard à l'admission.....	MM ₁	A —	E fermée	
		Admission ab (diagramme).....	M ₁ M ₂	A ouverte	E —	
		Retard à la fermeture d'admission.....	M ₂ M ₃	A —	E fermée	
		Compression bae.....	M ₂ M ₃ M ₄ M	A fermée	E —	
		Avance à l'allumage.....	M ₃ M	A —	E —	
2 ^e tour	2 ^{re} course A'	Explosion ec ; détonne cyd	MM ₂	A —	E —	
	2 ^{re} course R	Avance à l'échappement.....	M ₅ M ₂	A —	E ouverte	
		Echappement da.....	M ₂ M	A —	E —	

L'allumage ayant lieu aussitôt après la compression quintuplera la pression k , qui deviendra kp ; la détente sera elle-même kp et le travail :

$$T_3 = \frac{V}{k} \times kp \log \text{nep } kp = 200 \times 20 \log \text{nep } 20 = 4.000 \times 2,9957 = 11.982^{\text{kgm}},8.$$

Reste à prouver que :

$$T_3 - T_2 > T_1.$$

Dans notre cas, on a déjà :

$$T_3 - T_2 = 11.982^{\text{kgm}},8 - 1.106^{\text{kgm}},04 = 10.876^{\text{kgm}},96 > 6.737^{\text{kgm}},6 = T_1.$$

D'une manière plus générale, on doit avoir :

$$V \cdot p \cdot \log \text{nep } kp - V \cdot p \cdot \log \text{nep } k > V \cdot p \cdot \log \text{nep } p ?$$

$$p \cdot \log \text{nep } kp - \log \text{nep } k > p \cdot \log \text{nep } k ?$$

$$p \cdot (\log \text{nep } k + \log \text{nep } p) - \log \text{nep } k > p \cdot \log \text{nep } p ?$$

$$p \cdot (\log \text{nep } k + \log \text{nep } p - \log \text{nep } p) - \log \text{nep } k > 0 ?$$

$$p \cdot \log \text{nep } k - \log \text{nep } k > 0 ?$$

$$(p - 1) \log \text{nep } k > 0,$$

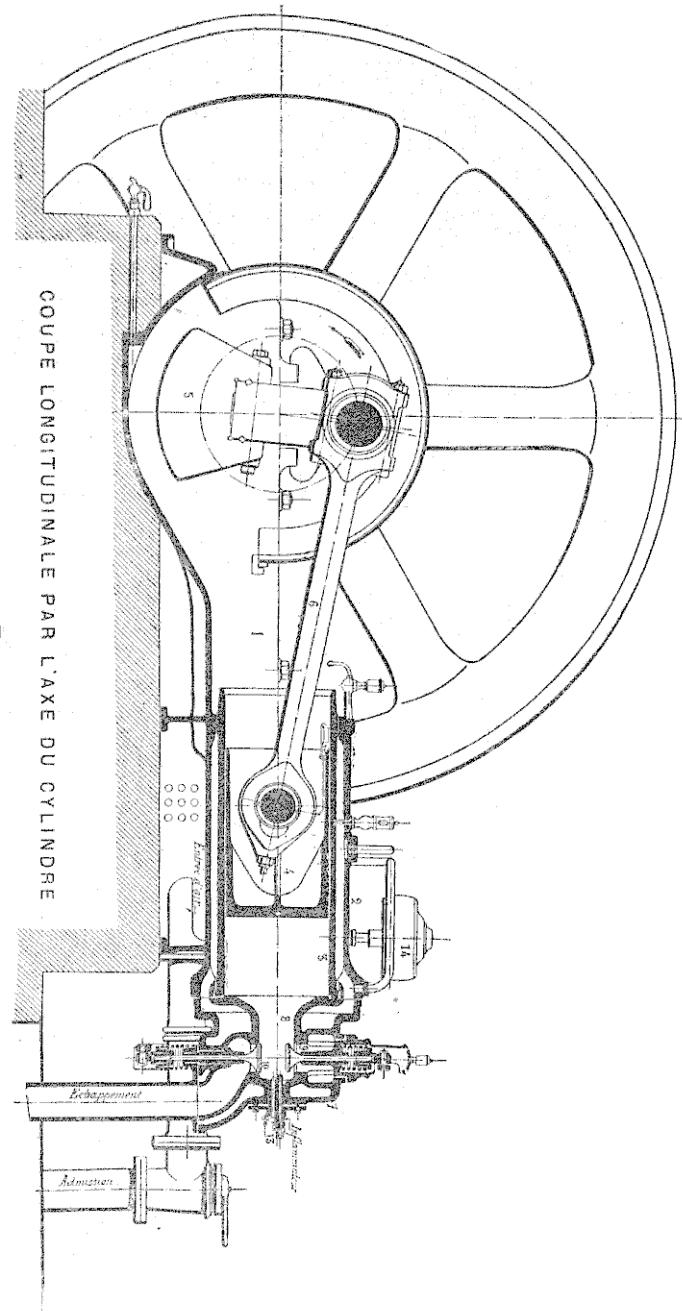
ce qui existe nécessairement, car on a toujours : $p > 1$ ou $p - 1 > 0$ et $k > 1$, dont $\log \text{nep } k > 0$.

La compression est donc économique ; elle offre un autre avantage : elle porte à une température assez élevée le mélange d'air et de gaz pauvres difficilement inflammables à la température ordinaire. C'est grâce à elle que l'on a pu utiliser les gaz très pauvres des hauts fourneaux que l'on soumet avant l'inflammation à une compression préalable de 10,12 et même 13^{kg}.

28. Moteur horizontal, monocylindrique à quatre temps et à simple effet Munzel-Piguet (fig. 48 et 49).

— Le bâti 1 en forme de fourche est très robuste. Il est venu de fonte avec le cylindre enveloppe 2. Sa large assise, qui s'étend sur toute la longueur, assure au moteur une stabilité très grande. Au-dessous de la manivelle, il forme cuvette pour recueillir l'huile de graissage.

Le cylindre travailleur 3 est un simple tube en fonte spéciale extra-dure à grain très fin et très serré, emmanché avec l'enveloppe 2, de façon à pouvoir se dilater librement dans le sens longitudinal. L'intervalle compris entre le cylindre et l'enveloppe constitue une chambre de circulation d'eau réfrigérante. Cette eau a pour but d'assurer la conservation des organes



soumis à des températures énormes ; nous avons vu (n° 3) que celles-ci peuvent atteindre 3.000°.

Le piston 4, également en fonte spéciale, est très long. Il est muni de segments en fonte et sa grande longueur assure l'étanchéité du cylindre, le guidage du mouvement rectiligne et une usure très faible.

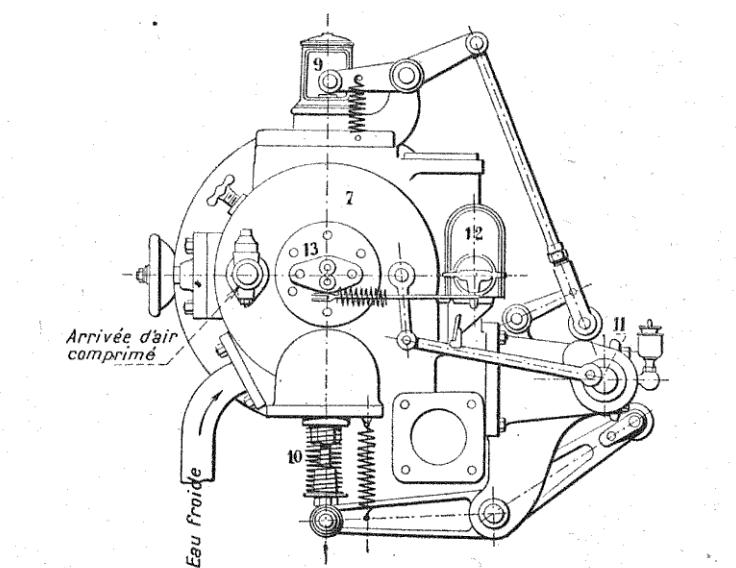


FIG. 19.

L'arbre moteur à vilebrequin 5 est en acier forgé ; il repose sur trois paliers. Le coude est formé d'un tourillon reliant deux manivelles. Celles-ci sont équilibrées par des contrepoids rapportés. Les paliers à longue portée sont à réservoir d'huile et à rattrapage de jeu. Leur disposition de part et d'autre de la manivelle et à l'extérieur du volant (troisième palier) assure une meilleure répartition des efforts sur l'arbre et une grande sécurité de marche des pièces calées sur le prolongement de l'arbre : volant, poulie, engrenage, dynamo...

La bielle 6 est en acier forgé. Le pied est garni de coussinets

en bronze phosphoreux embrassant un tourillon transversal à l'intérieur du piston.

La tête articulée avec le maneton de la manivelle possède un palier à coussinets en métal blanc.

La culasse 7 est une chambre en fonte à parois très résistantes qui termine à l'AR le cylindre travailleur, l'enveloppe et la chambre de circulation d'eau.

La chambre de compression 8 occupe la partie médiane de la culasse. C'est là que se font l'admission du mélange carburé, la compression de ce mélange, l'allumage et l'explosion.

Les soupapes d'admission 9 et d'échappement 10, disposées l'une au-dessus de l'autre, sont commandées par des leviers et des cames. Elles sont rappelées et maintenues sur leurs sièges par des ressorts antagonistes.

L'arbre de distribution ou arbre à cames 11 est parallèle à l'axe du cylindre. Il porte les cames et reçoit son mouvement de l'arbre moteur par un engrenage hélicoïdal, qui réduit de moitié la vitesse angulaire de celui-ci.

Le dispositif d'allumage se compose d'une magnéto à induit oscillant 12 et d'un inflammateur électrique 13 pénétrant dans la chambre de combustion. Tous deux sont commandés par l'arbre à cames.

Dans les moteurs à gaz d'éclairage, l'allumage a généralement lieu à l'aide d'un brûleur mis en communication avec la chambre de compression par le soulèvement d'une soupape au moment favorable.

Le mélange du gaz et de l'air a lieu avant la soupape d'admission 9 par l'arrivée de l'air dans le courant gazeux en minces filets animés d'une grande vitesse. La composition du mélange se règle par un robinet gradué.

Un régulateur à force centrifuge assure une introduction proportionnelle à la force absorbée en maintenant plus ou moins ouvert le papillon placé entre le dispositif de mélange et la soupape d'admission.

Le volant, la pompe de circulation d'huile et la pompe de circulation d'eau réfrigérante complètent l'installation.

29. Moteur vertical à quatre temps et simple effet Westinghouse (fig. 20). — Ce moteur se construit

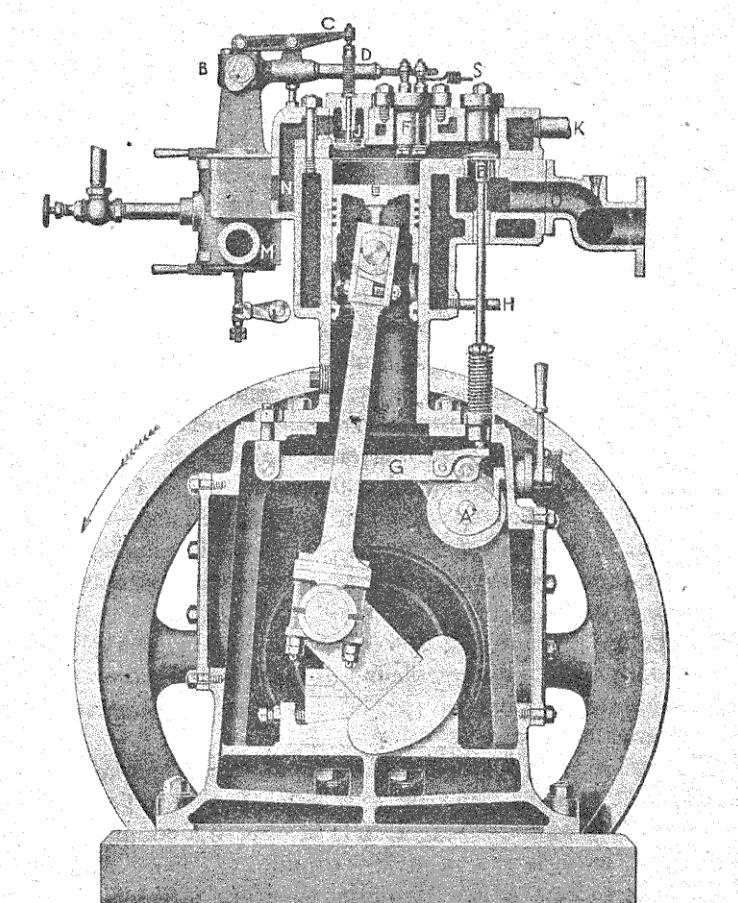


Fig. 20.

à deux cylindres de 25 à 100_{ch} et à trois cylindres de 125 à 260_{ch}. On y rencontre les mêmes organes que dans le moteur précédent, mais leur disposition est un peu différente :

Les soupapes d'admission J et d'échappement E sont dissymétriques et commandées par des arbres différents. L'arrivée des gaz a lieu par la conduite N et l'inflammation par l'allumeur F ; les gaz brûlés sortent par le conduit O. L'eau réfrigérante est introduite par H ; elle est évacuée par K.

L'arbre est muni de deux volants dont l'un forme poulie, ce qui permet de restreindre les dimensions.

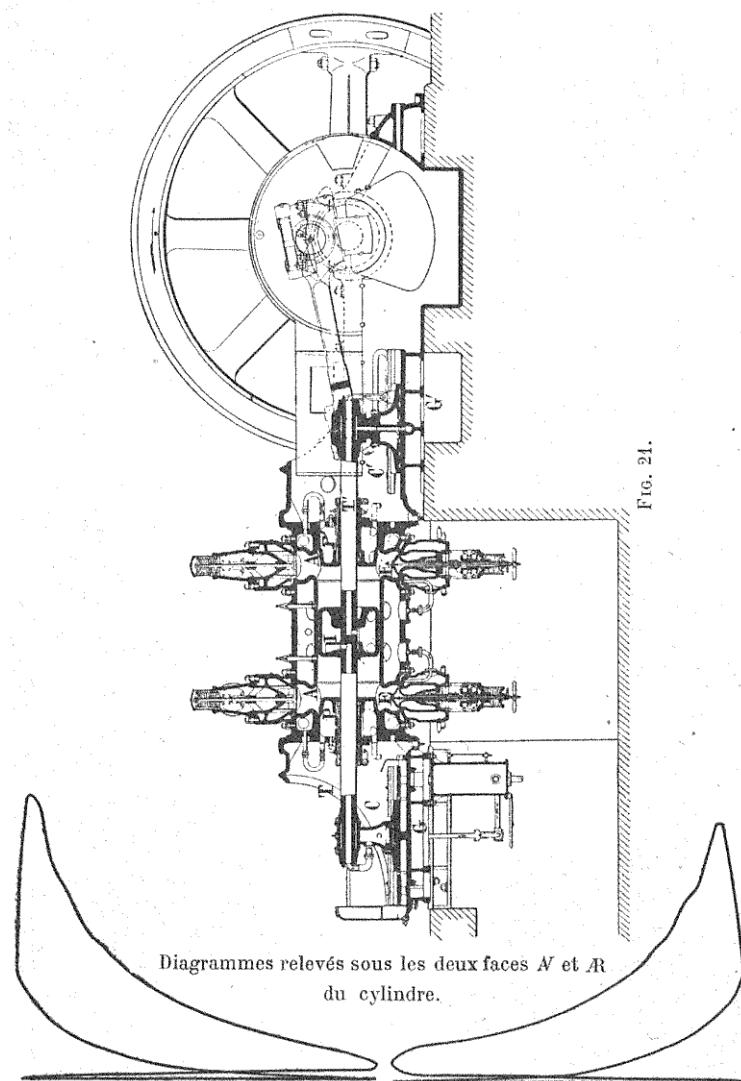
Les moteurs verticaux ont, à puissance égale, un encombrement moindre que les moteurs horizontaux. Grâce à la multiplicité des cylindres, leur régularité est plus grande, les poids des pistons s'équilibrent les uns les autres. Ces organes sont d'ailleurs beaucoup moins sujets à l'ovalisation dans cette position. Enfin le graissage des cylindres, des têtes et des pieds de bielle a lieu par barbotage.

A cause des avantages qu'elle présente, la disposition verticale est adoptée pour les moteurs à essence d'automobiles.

30. Moteur à quatre temps et à double effet de la Gasmotoren Fabrik Deutz (fig. 21). — Le cylindre est fermé à l'A comme à l'AR et le mécanisme de distribution est double. Le piston est muni d'une tige T' et d'une contre-tige T qui traversent les fonds de cylindre dans les presse-étoupes P, P'. Des crosses C, C' se déplaçant sur des glissières G, G' assurent le mouvement rectiligne du piston et des tiges. Afin de permettre le refroidissement des organes soumis à des températures énormes, le piston, les presse-étoupes et les tiges sont creux ; une abondante circulation d'eau les traverse.

Ce moteur fonctionne d'après le cycle à quatre temps, mais il y a évidemment deux courses motrices, une sur chaque face du piston, pour deux tours de manivelle. Il permet donc d'obtenir des puissances plus élevées (300 à 300 ch.)

MANIVELLE	PISTON	AR CYLINDRE	AN CYLINDRE
1 ^{er} tour	1 ^{re} course AR	1. Aspiration.	4. Echappement.
	1 ^{re} course AN	2. Compression.	1. Aspiration.
2 ^e tour	2 ^e course AN	3. Explosion, détente, période motrice.	2. Compression.
	2 ^e course AR	4. Echappement.	3. Explosion, détente, période motrice.



31. Moteur à combustion Rodolphe Diesel. —

a) **Principe.** — Alors que dans les autres moteurs à gaz, pétrole, essence ou alcool, on comprime le mélange carburé d'air et de combustible à des pressions faibles (4 à 6^{kg} pour le gaz d'éclairage) ou moyennes (12 à 15^{kg} pour le gaz de hauts fourneaux), dans le moteur Diesel, c'est l'air seul qui est fortement comprimé (35 à 40^{kg}). Il serait impossible d'atteindre cette pression énorme avec les autres moteurs, à cause des allumages intempestifs du mélange carburé, qui ne manqueraient pas de se produire. La température résultant de cette compression s'élève en effet à celle du rouge incandescent (700 à 800° environ).

Par contre, si l'air seul est soumis à cette haute température, on peut y introduire, au moment voulu, le combustible liquide qui s'enflamme dès son arrivée sans dispositif d'allumage, et brûle graduellement, à pression sensiblement constante.

Les produits de la combustion se détendent ensuite à la manière ordinaire.

b) **Cycle Diesel.** — Il est à quatre temps qui se répartissent ainsi (*fig. 24*) :

1^o *Aspiration*

de l'air pur (0-1);

2^o *Compres-*

sion de l'air pur

de 1 à 35^{kg}, et

augmentation

de température

(rouge incandes-

cent) (1-2);

3^o *Introduc-*

tion graduelle de pétrole et *combustion* portant la pression

à 40^{kg} (2-2');

puis *détente* (2'-3);

4^o *Echappement* des gaz brûlés (3-4).

c) **Description** [*fig. 25 et 26 (1)*]. — Le moteur est vertical, type pilon, à simple effet. Le piston P est ouvert à l'A, la

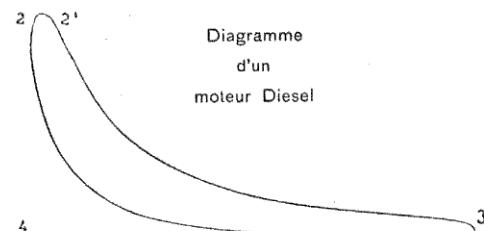


FIG. 24.

(1) Ces figures sont extraites du *Cours de machines marines*, par MM. Jauch et Masméjean ; Alté, éditeur, Toulon.

bielle motrice directement articulée à un tourillon perpendiculaire à l'axe du cylindre.

Le fond de cylindre porte cinq soupapes commandées par des leviers articulés en O et manœuvrés par l'*arbre à came* K :

G est la *soupape d'admission d'air comprimé* pour la mise en marche;

H est la *soupape d'aspiration d'air pur*;

I et J sont les *soupapes d'évacuation* des gaz brûlés;

D est une *soupape réglable* par aiguille et par laquelle s'effectue l'*injection* graduelle du pétrole arrivant en E.

L'air comprimé admis en F refoule le combustible liquide, en le pulvérifiant, dans le cylindre moteur.

Le pétrole est puisé dans un réservoir par la conduite a et refoulé par la conduite s jusqu'en E à l'aide d'une *pompe à pétrole* B. La levée du clapet d'aspiration m de cette pompe est réglée par le levier QRT. Les clapets de refoulement sont représentés par n et c.

L'*arbre à came* K est commandé par l'intermédiaire de deux arbres auxiliaires rectangulaires.

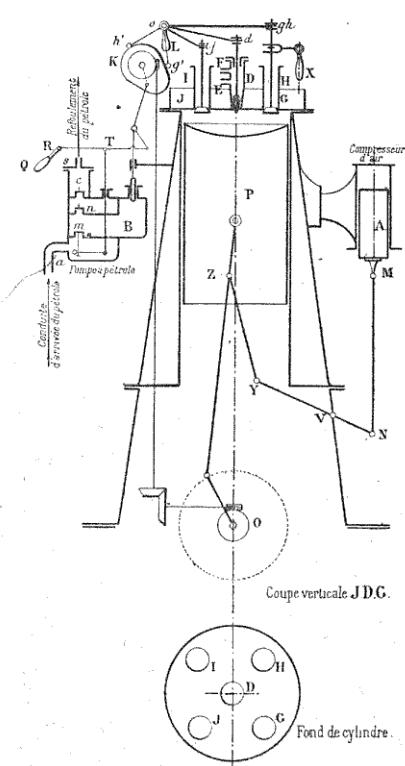


FIG. 25-26.

La pompe à pétrole B est commandée par l'arbre à cannes. Le *compresseur d'air* A est commandé par la bielle motrice à l'aide de leviers articulés en M, N, V, Y, Z. Il puise l'air dans l'atmosphère et le refoule à la pression de 70^{kg} dans un réservoir spécial.

Le levier L permet de soulever la soupape H pour le stoppage ; le levier de décompression X sert à maintenir ouvertes les soupapes d'admission lorsque l'on effectue la mise en route.

d) *Avantages du moteur Diesel.* — Ce moteur, entré récemment dans l'industrie, y occupe une place de plus en plus grande ainsi que dans la marine. Son fonctionnement régulier, les fortes puissances (1.500^{ch}) qu'il permet d'atteindre, sa faible consommation de combustible (200 à 250^g de pétrole lampant à 20 francs les 400^{kg}) par cheval-heure effectif, en font une des solutions les plus élégantes de la production économique et simple de la force motrice.

VII. — Moteurs à deux temps

32. Cycle à deux temps. — Il est basé sur l'échappement des gaz brûlés à la fin de la période de détente. A cet effet, les orifices d'évacuation sont disposés de manière à être découverts au moment convenable par le piston, qui forme lui-même obturateur. En même temps que l'évacuation, a lieu l'admission d'air pur d'abord, d'air carburé ensuite, de manière à empêcher toute dilution de gaz frais avec les résidus de la combustion. La figure 27 représente schématiquement cette disposition.

L'*admission* d'air pur, puis d'air carburé commence à la fin de la période d'échappement, puis se continue de *a* à *b* ; puis la *compression* a lieu jusqu'en *c* ; c'est le *premier temps*.

Pendant le *second temps*, l'*explosion* élève la pression de *c* à *d* et dure jusqu'à *e*. Les gaz brûlés se *détendent* suivant *e*, *f* jusqu'au moment où, le piston démasquant les orifices d'évacuation, l'*échappement* peut se produire, *f*, *a*. En résumé :

Premier temps : admission ab, compression bc ;

Second temps : explosion cde, détente ef, échappement fa,

Il y a une course motrice par tour de manivelle, la régularité est plus grande, mais l'admission ne pouvant plus se pro-

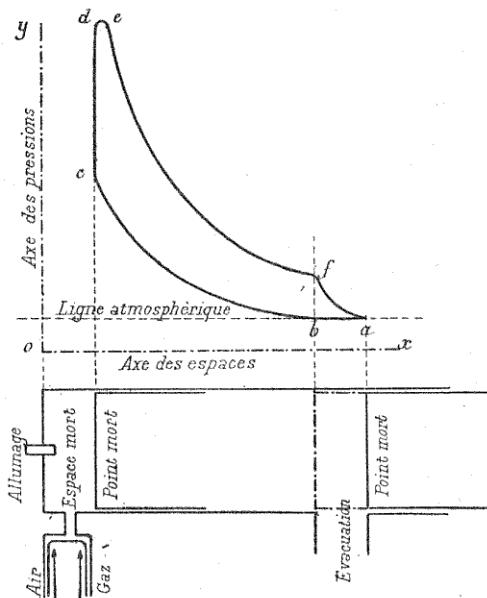


FIG. 27.

duire par l'aspiration du moteur nécessite une ou deux pompes spéciales.

33. Moteur Koerting à deux temps et double effet de la Société Lefflaive et C^{ie} (fig. 28). — « Les choses se passent exactement de la même manière des deux côtés du piston :

« 1^e Allumage du mélange (air et gaz) comprimé et explosion de la charge tout près du point mort A du piston ;

« 2^e Détente du mélange enflammé développant le travail transmis à la manivelle motrice ;

« 3^e Expulsion des produits de la combustion et admission d'une nouvelle quantité de mélange quand le piston arrive au point mort A ; »

« 4° Compression de cette nouvelle charge pendant la course R.

« On obtient donc à chaque tour de manivelle une impulsion motrice sur chacune des faces du piston, soit pour le moteur une impulsion utile par course, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, ce qui assure une grande régularité de marche.

« L'expulsion des gaz brûlés et l'admission de la nouvelle charge se faisant très rapidement, on a imaginé d'introduire la charge au moyen d'un organe spécial, celle-ci poussant la précédente vers les orifices d'échappement.

« L'introduction du nouveau mélange doit donc se faire de la façon suivante :

« 1° Il doit se répandre tout de suite sur toute la section du cylindre et repousser ainsi uniformément l'ancien mélange;

« 2° Une couche de gaz inerte doit se trouver entre le nouveau mélange et les résidus chauds de l'explosion précédente,

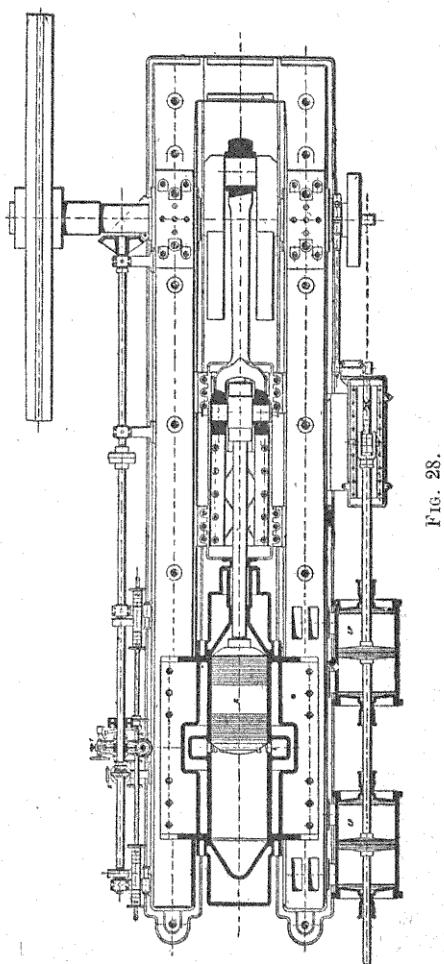


FIG. 28.

empêchant le contact des deux mélanges et l'allumage prématué de la nouvelle charge.

« Le nouveau moteur répond à ces exigences du cycle Körting de la manière suivante :

« L'évacuation des produits de la combustion se fait par des orifices placés au milieu du corps de cylindre et répartis sur toute la circonférence ; le piston, d'une longueur égale à sa course, moins la largeur des orifices d'évacuation ($1/10$ de la course), sert lui-même d'organe de fermeture à ces ouvertures, alternativement pour le côté droit et pour le côté gauche du cylindre. On supprime ainsi les soupapes d'échappement.

« L'évacuation des produits de la combustion et l'introduction de la nouvelle charge, expulsant les derniers restes des gaz de l'explosion précédente, se font pendant le temps que met le piston pour découvrir et obturer les orifices d'évacuation, au moment où il se trouve dans le voisinage du point mort, c'est-à-dire où sa vitesse est très faible.

« Les soupapes d'admission, simples soupapes plates avec fermeture à ressort, commandées par des cames, se trouvent aux deux extrémités du cylindre.

« Pour éviter les inconvenients qui pourraient résulter de l'inflammation prématuée d'un mélange détonant, le gaz et l'air sont amenés par des pompes séparées ; le mélange ne se fait qu'à l'entrée du cylindre. La pompe affectée au refoulement de l'air débite d'abord seule pour envoyer de l'air pur dans le cylindre ; ensuite les deux pompes refoulant ensemble donnent un mélange qui garde toujours la même composition et dont la quantité seule varie à chaque coup pour régler la puissance du moteur. Les pompes ne compriment pas, elles mesurent et introduisent seulement le mélange.

« Les pistons des deux pompes sont placés sur la même tige et actionnés par le même mouvement, engendrant par conséquent des volumes dans un rapport constant et assurant ainsi un mélange d'une composition toujours uniforme ; cette composition ne dépend que du rapport entre les surfaces des pistons des deux pompes : ce rapport est établi pour chaque

moteur, suivant la richesse du gaz et par suite suivant la quantité à brûler.

« Si le moteur doit marcher avec des gaz dont la capacité calorifique varie beaucoup, on détermine le diamètre de la pompe à gaz pour la plus faible valeur de cette capacité calorifique; ensuite, si cela devient nécessaire, on a recours à une addition d'air pour obtenir un mélange équivalent.

« Les deux conduites de refoulement des pompes se rejoignent sur la soupape d'admission (*fig. 29*).

« La soupape d'admission peut donc être considérée comme placée entre ces deux conduites, dans lesquelles l'air et le gaz amenés par les pompes avec une faible pression stationnent d'un côté et de l'autre avant l'ouverture de la soupape. Il va de soi que celui des deux qui se trouvera le plus rapproché de la soupape, au moment de son ouverture, entrera le premier dans le cylindre. Si donc on arrive par une disposition quelconque à faire passer l'air des deux côtés de la soupape, à le refouler même jusqu' dans la conduite du gaz, de façon à maintenir le gaz éloigné, il est certain qu'au moment de l'ouverture de la soupape il passera d'abord de l'air pur dans le cylindre jusqu'à ce que le gaz soit arrivé à la soupape.

« Il s'agit donc d'introduire d'abord de l'air pur et ensuite un mélange intime toujours de même composition. Pour cela la pompe à gaz, au lieu de débiter tout de suite, marche à vide pendant un certain temps durant lequel la pompe à air débite seule. Ensuite la pompe à gaz débite à son tour, de façon qu'un mélange de la composition voulue arrive subitement au moteur à la suite de l'air.

« En un mot, la pompe à air fonctionne toujours à plein débit et la pompe à gaz refoule d'abord, pendant une partie de la course, à travers les soupapes d'aspiration, puis vers le cylindre moteur, en formant avec le débit de la pompe à air le

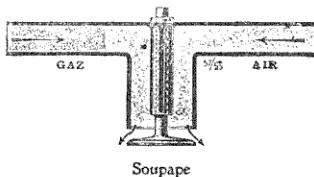


FIG. 29.

mélange qui va constituer la nouvelle charge. Cette variation dans le débit effectif de la pompe à gaz est réglable à volonté, suivant la quantité de mélange que l'on veut introduire pour chaque charge.

« Grâce à la forme particulière du coude d'entrée, l'air pur, qui est introduit au début, reste constamment séparé du mélange détonant entré à sa suite, empêchant complètement que ce dernier ne s'appauvrisse, ce qui fait que même de petites quantités peuvent encore s'enflammer.

« L'inflammation du mélange se fait électriquement au moyen de magnétos; il y en a deux de chaque côté du cylindre, avec dispositif sur chacune d'elles pour avancer ou retarder le moment de l'allumage, même pendant la marche, suivant la nature du gaz employé.

« La mise en marche se fait au moyen d'air comprimé, comme pour les moteurs à quatre temps. Elle se fait avec une sûreté absolue et très rapidement.

« Le cylindre et le piston du moteur sont refroidis par une circulation d'eau; à cet effet, la tige du piston est perforée dans toute sa longueur; les presse-étoupes de la boîte à soupape sont également entourés d'une chemise d'eau.

« Les cylindres sont munis de soupapes de purge, servant en même temps de soupapes de sûreté.

« Ils sont également pourvus de regards de nettoyage pour les ouvertures d'échappement, bien que la pratique ait démontré que l'intérieur du cylindre reste en parfait état de propreté; cela est dû à ce que les gaz, s'échappant alternativement des deux côtés, avec une grande vitesse, à travers les ouvertures du cylindre, ne déposent aucun cambouis ».

Un moteur Koërling de 4.500_{ch} installé aux aciéries d'Outeau donne complète satisfaction aux industriels, qui considèrent son fonctionnement aussi régulier que celui d'une machine à vapeur. Les établissements Leflaive et C^{ie} ont déjà fait en France plusieurs installations de ce genre : 2 à la Société des hauts fourneaux de Pont-à-Mousson, 3 à la Société des forges et fonderies de Montataire, 1 chez MM. Raty et C^{ie}.

34. Moteur H. Claudel à deux temps et à simple effet [fig. 30⁽¹⁾]. — a) Description. — Les organes de transmission : arbre moteur A, bielle G et crosse de piston F, sont enfermés dans le bâti, formant carter étanche et contenant un bain d'huile. Le graissage de ces organes a donc lieu automatiquement par barbotage.

Le cylindre B est à double enveloppe formant chambre de circulation d'eau réfrigérante. Dans les parois du cylindre sont ménagées la lumière d'échappement R et la conduite KJ. Le cylindre est prolongé à sa partie supérieure par la chambre de combustion H, pourvue de la soupape d'admission L, et de l'inflammateur I. Il est fermé à la partie inférieure par le fond de cylindre E formant glissière pour la crosse de piston F.

La capacité inférieure du cylindre peut communiquer soit avec les conduites d'amenée d'air et de gaz par la soupape M, soit avec la chambre de combustion par la soupape L qui porte un protecteur en saillie pour protéger l'inflammateur I contre les poussières et les liquides.

La disposition des conduites permet de marcher indifféremment au gaz ou au pétrole.

⁽¹⁾ Extraite du bulletin technologique de la Société des Anciens Élèves des Ecoles d'Arts et Métiers.

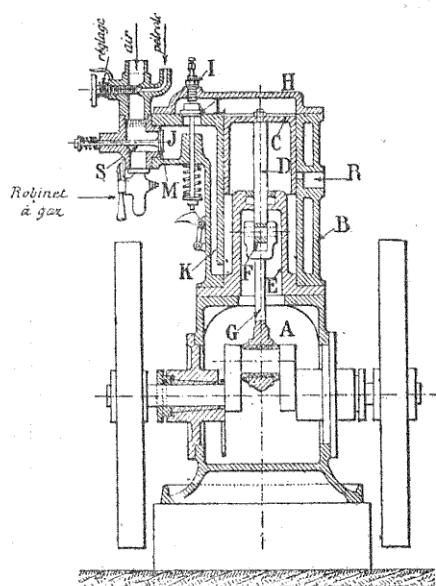


FIG. 30.

b) **Fonctionnement.** — 1^o L'*admission* par la soupape L du gaz frais contenu dans le fond de cylindre se fait dès le début de l'ascension du piston et cesse dès que l'orifice d'évacuation est masqué.

Pendant le reste de la montée du piston, la soupape L est appliquée sur son siège, le gaz frais contenu dans la capacité supérieure (motrice) du cylindre est refoulé dans la chambre de combustion ; c'est la période de *compression*. En même temps, le vide se fait dans le fond de cylindre et la conduite JK. L'air carburé qui est à la pression atmosphérique agit sur la soupape M. Celle-ci s'ouvre en livrant passage au mélange.

2^o Au moment où le piston va atteindre son point mort haut, l'*inflammation* a lieu, suivie de l'*explosion*, puis de la *détente des gaz brûlés*. Le piston est repoussé vers le bas. C'est la période motrice qui se produit pendant les 9/10 de la course descendante, jusqu'à ce que soit découverte la lumière d'échappement R.

L'*évacuation* dure donc pendant le dernier dixième de cette course et s'achève au début de la montée.

Pendant la descente, les soupapes L et M sont fermées, l'air carburé contenu dans le fond de cylindre est légèrement comprimé.

VIII. — Installation, conduite et entretien

35. Installation d'un moteur industriel. — 1^o Foundations. — « Le moteur sera établi avec soin, solidement et parfaitement de niveau, sur un massif en briques ou en béton avec chape en ciment, reposant sur une fondation en maçonnerie quelconque ou en béton.

« Le massif peut être remplacé par une pierre, les boulons de fondation étant scellés dans la pierre au soufre. Pour les installations provisoires on peut disposer deux madriers bien placés scellés dans le sol.

« Pour le montage, il est préférable de ne sceller les boulons dans leurs logements que lorsque le moteur est présenté sur le massif.

« On amène le moteur sur le socle en le faisant reposer sur deux madriers permettant de passer les boulons dans leurs trous, on retire ensuite les madriers et on dégauchit le moteur.

« Lorsque l'on n'est pas bien sûr que le massif est parfaitement plan, un bon procédé consiste à faire reposer le moteur sur des cales en fer, le dégauchir, puis introduire entre le socle du moteur et le massif un coulis de ciment liquide qui, en séchant, supprime toute chance de déformation du socle.

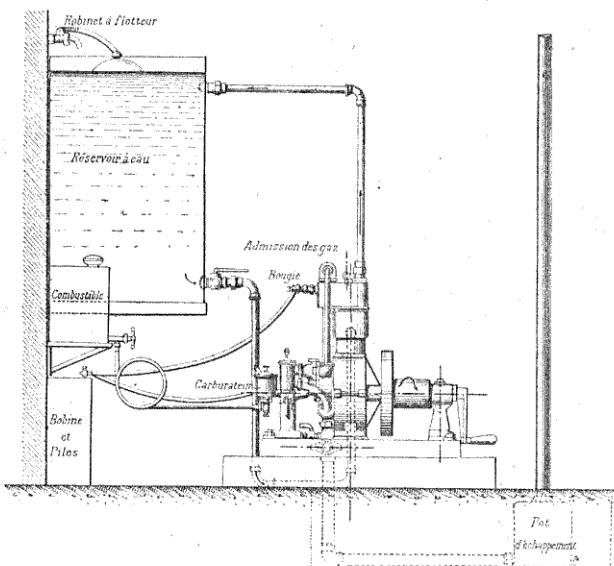


FIG. 31.

« Ne serrer les écrous des boulons que lorsque le ciment est bien sec. S'assurer après serrage que l'arbre du moteur tourne toujours parfaitement librement.

« Dans certains cas où il est nécessaire d'amortir les vibrations d'une façon complète, il est bon d'interposer entre le massif et le socle du moteur un matelas en poils de chameau,

double paillasson poils contre poils, ou caoutchouc recouvert d'une chape de zinc avec rigole tout autour (pour recueillir l'huile qui dissoudrait le caoutchouc), etc.

2^e Conduite d'échappement des gaz. — « La conduite d'échappement des gaz devra comporter le moins de coudes possible ; elle sera établie en tubes, coudes et raccords, série du commerce.

« Les raccords seront bien établis à la céruse pour éviter toute fuite, ce qui nuirait à la marche silencieuse du moteur et amènerait des fumées dans la salle.

« Le pot d'échappement sera placé dans une cavité bien accessible afin de pouvoir de temps en temps vider l'eau de condensation par le bouchon.

« Un tuyau partant du haut du pot d'échappement emmène ensuite les gaz à l'extérieur.

« La conduite d'échappement sera placée dans un caniveau aéré, recouvert de plaques de fonte ou tôle ajourées largement pour permettre le dégagement de la chaleur.

« Le pot d'échappement doit être au point le plus bas de la canalisation d'échappement : un bouchon sert à vidanger l'eau de condensation. » (*L'Aster.*)

3^e Canalisation d'eau réfrigérante. — Si l'on dispose d'eau sous pression à bon marché, il suffit d'amener l'eau par une conduite en fer sur laquelle est monté un robinet de réglage. L'eau échauffée se rendant dans un entonnoir à la partie supérieure du cylindre est emmenée à la vidange par un tuyau quelconque. Le débit doit être réglé d'après la température de sortie de l'eau.

Si l'eau est rare ou coûteuse, on opère le refroidissement par thermo-siphon comme l'indique la figure. Un robinet à flotteur rétablit le niveau dans le réservoir d'eau lorsque l'évaporation le fait baisser.

Dans tous les cas, il faut avoir soin de placer des bouchons de vidange aux points bas des canalisations d'eau pour éviter leur éclatement lors des gelées.

4^e Canalisation d'essence. — Le réservoir de combustible est placé en charge par rapport au niveau constant du carbu-

rateur. Il est rempli en utilisant un entonnoir avec toile métallique fine pour retenir les impuretés. On recommande de filtrer le pétrole lampant avec un linge.

36. Réglage des moteurs à explosion. — Les variations de puissance sont obtenues par l'un des procédés suivants :

- 1^o *Méthode du « tout ou rien » ;*
- 2^o *Variation de la composition ou de la qualité du mélange ;*
- 3^o *Variation du volume ou de la quantité du mélange admis ;*
- 4^o *Variation du moment de l'allumage ;*
- 5^o *Variation de la durée de l'échappement.*

a) **Méthode du « tout ou rien ».** — Elle consiste à fermer l'admission pendant un ou plusieurs tours de l'arbre moteur de façon à diminuer le nombre des courses motrices. L'introduction est maintenue fermée par un tiroir jusqu'à ce que cesse l'emballlement produit par une diminution de la charge, c'est-à-dire du travail demandé au moteur. Cette méthode est simple et assure un rendement convenable à toutes les charges ; mais les explosions qui suivent les passages à vide sont excessivement violentes. Elle ne convient donc que pour les faibles puissances.

b) **Variation de la composition du mélange.** — Dans ce système, l'admission d'air est constante ; celle de gaz est commandée par une came à gradins ou came conique, placée sous la dépendance du régulateur. Lorsque la charge diminue, la vitesse tend à augmenter, mais le levier qui soulève la soupape d'admission du gaz vient se placer en regard de la came qui a un plus petit rayon, de sorte que l'introduction du combustible diminue. La détente reste sensiblement constante ; mais, la richesse du gaz diminuant, l'inflammation peut ne pas se produire ; il y a des ratés, d'où perte. Pour éviter cet inconvénient, on opère, dans le moteur Letombe, une surcompresseur qui facilite l'allumage.

c) **Variation du volume du mélange.** — La richesse du gaz admis ne change pas, mais on en admet une plus petite quantité, de sorte que la puissance diminue. Il n'y a plus de raté

à l'allumage, mais la compression diminue et avec elle le rendement. D'autre part, la combustion est souvent incomplète et détermine non seulement une perte, mais l'encrassement du cylindre.

d) **Variation du point d'allumage.** — Si on retarde l'allumage, il en résulte une diminution considérable de puissance, mais la consommation de combustible ne change pas, et le rendement devient très médiocre. Ce procédé ne peut être employé que pour des durées insignifiantes et dans les moteurs de luxe.

e) **Variation de la durée de l'échappement.** — Elle conduit à une évacuation incomplète des gaz brûlés, à une entrée moins considérable de gaz frais, mais la combustion est souvent incomplète et provoque l'encrassement du cylindre.

On peut combiner les divers modes de régulation précités pour atténuer leurs défauts.

37. Mise en marche. — Les moteurs à explosion ne peuvent pas se mettre en route d'eux-mêmes comme les machines à vapeur. L'air carburé doit en effet être aspiré, puis comprimé par le mouvement du piston moteur. Pour les faibles puissances, la rotation de l'arbre moteur est obtenue en actionnant à bras une manivelle.

Lorsque le moteur actionne une dynamo pour constituer un groupe électrogène, on peut, à l'aide d'accumulateurs, effectuer la mise en marche par le courant électrique.

L'emploi d'un petit moteur de mise en route constitue une solution, mais encombrante, coûteuse et peu élégante.

C'est surtout à l'aide de l'air comprimé pendant le fonctionnement de la machine que l'on opère actuellement.

Dans quelques cas, on a comprimé dans des réservoirs spéciaux, non de l'air, mais de l'air carburé que l'on peut enflammer lorsque le piston est dans la position convenable. A cause des dangers d'allumage intempestif qu'il présente, ce procédé est délaissé.

38. Conduite des moteurs à explosion. — a) Avant la mise en train, nettoyer les différents organes avec un

chiffon légèrement imbibé de pétrole ; vérifier le fonctionnement de l'allumage, l'étanchéité des soupapes et des joints, le serrage des écrous ; remplir les graisseurs du cylindre d'huile minérale, les autres de graisse consistante ; remplir, s'il y a lieu, les réservoirs de pétrole, d'essence ou d'autre combustible liquide ; s'assurer de la qualité du gaz s'il est fourni par un gazogène ou un four.

b) Pour mettre en train, faire faire quelques tours au moteur, ouvrir les robinets de gaz ou d'air carburé, et l'explosion se produit. La mise en marche doit se faire avec un léger retard à l'allumage, de manière à assurer une rotation dans le sens convenable.

c) Pendant la marche, régler les robinets d'arrivée d'air et de gaz, donner peu à peu une légère avance à l'allumage ; vérifier si la température de l'eau réfrigérante ne dépasse pas 40 à 50° à la sortie de la chambre de circulation, s'assurer qu'il n'y a pas de ratés et que le gaz d'échappement est inodore.

d) Pour arrêter, couper l'allumage, fermer les robinets d'arrivée de gaz.

e) Après la marche, arrêter le débit de l'huile, vider la chambre de circulation d'eau si l'on craint la gelée, ainsi que les réservoirs et les graisseurs si l'arrêt doit se prolonger.

39. Entretien. — Il est à peu près insignifiant ; la visite et le rodage des soupapes, le serrage des écrous et des coussinets, le nettoyage des graisseurs et des réservoirs ne sont nécessaires qu'à des intervalles de plusieurs mois. Nettoyer une ou deux fois chaque année la chemise de circulation d'eau.

40. Consommations des moteurs à combustion interne. — On admet que la production du cheval-heure effectif sur l'arbre moteur s'obtient avec :

500 à 600^t de gaz d'éclairage à 5.300 calories ;

450 à 550^r d'anthracite gazéifié à 9.000 calories ;

500 à 600^s de charbon maigre gazéifié à 8.500 calories ;

800 à 900¹ de gaz de bois Riché à 3.000 calories ;

3^{m3} de gaz des hauts fourneaux à 900 calories ;

500^s ou 0^t,700 d'essence de pétrole à 11.000 calories ;

400^s ou 0^t,500 de pétrole lampant à 10.500 calories ;

650^s ou 0^t,800 d'alcool carburé à 6.000 calories.

Pour préciser, en ce qui concerne les gros moteurs dont la puissance varie entre 500 et 2.000^{chx}, nous citons quelques chiffres garantis à leurs clients dans les contrats de vente par divers constructeurs.

1^o *Le Creusot* : 2.400 calories de combustible gazeux, 40^l d'eau réfrigérante à 15° et 1^s,5 d'huile de graissage par cheval-heure effectif.

2^o La *Siegener Maschinenbau A. G.* : 2.300 calories, 35^l d'eau et 1^s,3 d'huile par cheval-heure indiqué.

3^o La *Société de Nuremberg* : 3^{m3} de gaz des hauts fourneaux à 900 calories, 80^l d'eau et 1^s,5 d'huile par cheval-heure effectif.

4^o Les ateliers *Leflaive et Cie* : 2.700 calories, 45 à 50^l d'eau et 1^s à 1^s,5 d'huile selon le degré d'épuration du gaz.

5^o Les essais effectués sur un moteur Cockerill de 1.400^{chx} ont indiqué une consommation de 3.400 calories par kilowatt aux bornes (tableau) :

MOTEURS INDUSTRIELS A EXPLOSION

67

RÉSULTATS DES ESSAIS DES MOTEURS COCKERILL DE 1.400 ch.^b

NOMBRE DE LESSAI		NOMBRE DE TOUFS par MINUTE		PRESSION MOYENNE du DIAGRAMME		EFFETIFS		RÉSISTANCES		CONSUMMATION à 0° et 7,00 m/m² PAR CHEVAL-HEURE		POUVOIR CALORIFIQUE du gaz de la chaudière		CALORIES CONSOMMÉES PAR HEURE		RENDEMENT		
1	103,41	1,7907	637,45	349,17	344,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	979	4.482,3	7.874,4	3.838,4	45,49
2	101,30	3,4675	1,230,40	986,00	917,5	78,8	93,4	73,3	2,513	3,487	3,425	979	2.460,2	3.420,4	3.333,4	25,82		
3	100,94	4,1068	1,463,68	1,332,70	1,250,7	91,4	93,8	85,4	2,376	2,340	2,707	963	2.227,4	2.446,0	2.606,8	28,32		
4	91,25	4,9348	1,607,74	1,494,80	1,400,0	72,97	94,0	87,4	2,923	2,497	2,637	943	2.492,5	2.354,7	2.303,6	28,98		
5	93,80	4,7004	1,369,45	1,466,15	1,377,5	93,4	93,9	87,76	2,247	2,406	2,360	983	2.208,8	2.363,4	2.316,5	28,77		
6	94,94	3,2425	4,735,06	4,381,90	4,487,7	90,0	94,0	84,7	2,135	2,392	2,542	984	2.129,4	2.363,3	2.314,5	29,84		

Diamètre des cylindres : 1^m,000 ; Diamètre de la tige des pistons : 0^m,275 ; Course des pistons : 1^m,100.

PRIX DE REVIENT DE LA FORCE MOTRICE AVEC MOTEURS A GAZ, d'après M. L. Saint-Martin.

	MOTEURS A GAZ D'ECLAIRAGE				MOTEURS A GAZ PAUVRE		
	1 ch	5 chx	10 chx	20 chx	40 chx	60 chx	100 chx
Bases du prix de revient :							
Dépenses d'installation (1)..... Fr.	2.000	4.500	7.000	10.000	45.000	32.000	40.000
Consommation de gaz par cheval-heure effectif (2)..... Lit.	1.100	860	750	670	620	"	"
Consommation de charbon par cheval-heure effectif (2)..... Kg.	"	"	"	"	"	0.750	0.720
Dépenses annuelles pour 3.000 heures de marche :							
Dépenses combustible (3)..... Fr.	495	1.935	3.375	6.030	44.460	2.250	2.700
Frais généraux, eau, graissage, entretien, réparations, etc.	200	500	825	1.320	2.400	3.000	3.200
Salaires.....	300	400	500	650	1.000	2.500	3.000
Intérêt et amortissement (4).....	200	450	700	1.000	1.500	3.200	3.600
Totaux..... Fr.	1.195	3.285	5.400	9.000	16.050	10.000	12.500
Nombre annuel de chx-h. eff.....	3.000	15.000	30.000	60.000	120.000	120.000	120.000
Prix (a) de revient total du cheval-heure produit..... Cent.	30,8	21,9	18	15	13,4	9,13	8,33
Prix (b) de revient réel du cheval-heure utile..... Cent.	60 à 100	33 à 55	27 à 43	22,5 à 37,5	20,4 à 33,5	13,8 à 23	12,5 à 20,7
						11,5 à 19,2	9,6 à 16

N. B. — Les chiffres (a) se rapportent au travail *produit* par les moteurs à gaz et les chiffres (b) au travail *vétement utilisé* par les machines réceptrices de l'atelier, en supposant entre ces deux quantités de travail un rapport de 1,5 à 2,0, suivant les plus ou moins bonnes conditions d'utilisation de la force motrice.

(1) Dépenses comprises comme ci-dessus, pour les machines à vapeur.

(2) Ces consommations se rapportent à une marche industrielle, en pleine charge et comprenant les combustibles brûlés, le cas échéant, par les

petites chaudières à vapeur de certains gazogènes.

(3) Gaz à 0 fr. 15 le mètre cube. — Anthracite ou briquettes, à 25 francs la tonne, rendue en soute.

(4) 5,0/0 d'intérêt et 5,0/0 d'amortissement, soit en tout 10,0/0 des dépenses de construction.

EXERCICES A RÉSOUDRE

I. — On a pratiqué l'essai d'un moteur à gaz pauvre à l'aide d'un frein de Prony dont le bras de levier $L = 4^m,648$. Le nombre de tours par minute, résultat de la moyenne de vingt relevés, $n = 173,6$. La charge du frein a été successivement :

CHARGE DU FREIN en kg.	HEURES	DURÉE EN SEC.	PUISANCE EN CHX.	ÉNERGIE PRODUITE en chx.-h.
242	1 ^h 50 ^m à 2 ^h 36 ^m			
233	2 ^h 36 ^m à 3 ^h 15 ^m			
238	3 ^h 15 ^m à 3 ^h 37 ^m			
233	3 ^h 37 ^m à 8 ^h 50 ^m			

Compléter les colonnes en calculant les résultats et dire quelle a été la puissance moyenne.

[Moteur installé à la manufacture de meuble Heystée, à Malines (Belgique), par la Gasmotoren Fabrik Deutz.]

II. — Le gaz alimentant le moteur précédent était fourni par un gazogène Riché à double combustion qui a consommé :

965^{kg},5 de copeaux de bois de raboteuse à 3.910 calories ;
75^{kg},85 de coke de gaz à 5.850 calories.

On a retrouvé :

8^{kg} de charbon de bois en morceaux à 8.000 calories ;
15^{kg},4 de coke utilisable à 5.850 calories.

Quel est le rendement thermique du groupe moteur et gazogène ?

III. — En adoptant comme valeur du coke 25 francs la tonne et pour celle des copeaux 12 francs la tonne, calculer le prix de revient du combustible consommé par cheval-heure.

IV. — L'essai d'un moteur installé à l'usine Rensonnet, à Saint-Laurent-de-Céris, a été effectué au frein à corde :

Diamètre du volant.....	$2R = 4^m,664$
— de la corde.....	$2r = 0^m,015$
Pression effective (différence entre les poids et la tension du dynamomètre) (moyenne de 26 observations).....	$(P - p) = 28^{kg},731$
Vitesse de l'arbre moteur par minute	$n = 254$ tour/s

Calculer la puissance effective moyenne.

V. — Pour évaluer la consommation du moteur ci-dessus alimenté par un gazogène Pierson, on a chargé 60% de combustible à 6,5 0/0 de cendres et l'on en a retiré 34%,90 après 6^h d'essai.

On demande la consommation de charbon brut et de charbon net par cheval-heure effectif.

VI. — De l'essai d'un moteur Crossley fait au laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers, on extrait le tableau ci-dessous :

DÉSIGNATION	A la mise en route	En marche normale	A pleine charge
Durée de l'essai.....	40 ^m	7 ^h 34 ^m	4 ^h 16 ^m
Nombre de tours par minute...	460	439,4	462,4
Charge du frein.....	126 ^{kg} ,6	136 ^{kg} ,6	152 ^{kg} ,54
Bras de levier du frein	2 ^m ,307	2 ^m ,307	2 ^m ,307
Puissance effective.			
Travail produit.....			

Compléter le tableau, calculer le travail total et la puissance moyenne.

VII. — Le gaz utilisé dans le moteur ci-dessus a été produit dans un gazogène Pierson :

Poids total de charbon chargé dans le gazogène.....	365 ^{kg}
Pouvoir calorifique de ce charbon.....	7.520 ^{cal}
Coke utilisable retiré du gazogène.....	49 ^{kg}
Cendres et mâchefer.....	56 ^{kg}

Calculer la consommation de charbon brut et de charbon net par cheval-heure effectif.

Calculer le rendement thermique du groupe moteur et gazogène en admettant pour le coke un pouvoir calorifique de 6.000 calories.

VIII. — Un moteur Letombe essayé à Lille par M. Cobron, à l'aide d'un frein à deux cordes entretoisées, a fourni les données suivantes :

Diamètre du volant.....	2 ^m ,006
Diamètre des cordes.....	18 ^{mm}
Charge du frein, P — p.....	185 ^{kg}
Nombre de tours par minute.....	196
Consommation de gaz d'éclairage à l'heure.....	24 ^{m3}
Pouvoir calorifique de ce gaz.....	5.025 ^{cal}

Calculer :

- 1^e La puissance effective du moteur;
- 2^e La consommation de gaz par cheval-heure;
- 3^e La consommation en calories par cheval-heure;
- 4^e Le rendement thermique du moteur;
- 5^e Le prix de revient (à 0 fr. 18 le mètre cube) du cheval-heure.

IX. — Un moteur Letombe essayé à Lille par M. Witz, à l'aide d'un frein bascule non équilibré, a fourni les données suivantes :

Durée de l'essai.....	10 ^h
Nombre total de tours.....	81.339
Charbon consommé dans les gazogènes.....	4.078 ^{kg}
Charge du plateau de la bascule.....	66 ^{kg} ,5
Longueur du frein.....	3 ^m
Effet du poids du frein rapporté à cette longueur (à soustraire).....	149 ^{kg}

Calculer la puissance du moteur et la consommation de charbon par cheval-heure.

X. — Les essais effectués par M. Witz sur des moteurs Crossley alimentés par un gazogène Pierson ont donné les chiffres suivants :

Premier essai sur un moteur de 23 ^{ch}	En charge	En surcharge
Durée de l'expérience.....	7 ^h	1 ^h
Charge nette du frein.....	60 ^{kg}	65 ^{kg}
Longueur du bras de levier.....	1 ^m ,50	1 ^m ,50
Vitesse moyenne en tours par minute....	199 ^t ,78	199 ^t ,55
Poids du charbon brut consommé.....	113 ^{kg} ,07	
Pouvoir calorifique de ce charbon.....	8.489 ^{cal}	

Calculer la puissance effective et la consommation par cheval-heure.

Deuxième essai sur un moteur commandant une pompe	
Durée de l'expérience.....	8 ^h
Nombre de tours par minute.....	190,10
Charge nette du frein.....	20 ^{kg}
Longueur du bras de levier.....	1 ^m ,30
Eau montée en une heure.....	82 ^{m3}
Hauteur d'élévation	30 ^m ,80
Consommation totale de charbon net.....	96 ^{kg} ,08
Teneur en eau et en cendres du charbon brut.. 4,7 + 7,6 =	9,3 0/0
Pouvoir calorifique du charbon brut.....	8.489 ^{cal}

Calculer la puissance utile de la pompe, la puissance disponible sur l'arbre du moteur. Par comparaison avec le premier essai en charge, calculer le rendement de la pompe ; on admettra une perte de charge de 4% dans les tuyaux.

XI. — Calculer la puissance du moteur Charon installé à la scierie Nolin, à Calais, étant donnés : le nombre de tours par minute $n = 149$; la charge sur le plateau de la bascule $P/40 = 13\text{kg}$, et le bras de levier d'un équilibré $L = 2\text{m}$.

XII. — Pour alimenter ce moteur développant en moyenne 30^{ch} pendant 40^h, on a alimenté pendant 48^h un gazogène à distillation Riché avec 723^{kg} de bois et 4.100^{kg} de houille tout venant de Bruay. En admettant que le volume du bois 10 francs la tonne, pour celle de la houille 30 francs

XIII. — Un moteur à gaz développe une puissance de 43^{ch} et consomme par cheval-heure 720^t de gaz d'éclairage à 5.200 calories, nécessitant pour brûler complètement 6 fois son volume d'air. Quelle puissance pourrait fournir ce moteur :

1^o Avec du gaz au bois Riché à 3.200 calories, nécessitant 3 fois son volume d'air pour brûler complètement ?

2^o Avec du gaz pauvre à 1.200 calories nécessitant 4 fois son volume d'air ?

Quelles seront dans chaque cas la consommation journalière et la consommation par cheval-heure, si le rendement calorifique n'a pas changé ?

IX. — Turbine à gaz ou à essence

41. Principe. — Il est analogue à celui des turbines à vapeur : on fait traverser les canaux de la turbine mobile par les gaz provenant de la combustion de la vapeur combustible avec l'air ; ceux-ci, à haute pression, possèdent une très grande vitesse d'écoulement, ils agissent en se détendant sur les aubes mobiles par leur puissance vive énorme $\frac{1}{2} mV^2$.

Suivant le degré de détente que l'on désire, il faut alimenter la turbine avec des gaz brûlés de *pression constante* à une *température élevée* voisine de 600 à 1.000°. Théoriquement, comme pour toute machine thermique, le rendement serait le meilleur avec la plus haute chute de température, avec une alimentation à 2.000° environ ; mais, pratiquement, les roues en acier au nickel et même au tungstène ne résisteraient pas à ces températures très élevées. Dans la turbine Lemale et Armengaud, on peut aller jusqu'à 450° (dans les turbines à vapeur chauffée, on atteint 400°) ; nul doute qu'avec les progrès incessants de la métallurgie on ne puisse atteindre de plus hautes températures.

Pour faire entrer les gaz sous une pression constante, on ne peut songer à créer des explosions à l'entrée de la turbine, les remous des gaz gaspilleraient l'énergie du jet.

On pourrait peut-être régulariser la pression des gaz provenant de plusieurs chambres d'explosion distinctes dans un réservoir intermédiaire. On préfère actuellement brûler pro-

gressivement le mélange combustible dans une chambre de combustion, et, pour obtenir une pression suffisante, on comprime l'air à injecter dans cette chambre (tout comme dans les moteurs Diesel).

Une turbine à essence comporte donc les organes essentiels suivants :

- 1^o Un compresseur d'air (6 à 10^{kg} de pression);
- 2^o Un générateur continu sous pression;
- 3^o Une turbine motrice.

42. Turbine Lemale et Armengaud. — *a) Compresseur d'air.* — La turbine tournant très vite (4.000 tours) ne pourrait commander directement des compresseurs à piston (1.000 tours maximum). M. Lemale a recours à des ventilateurs centrifuges multicellulaires comprimant progressivement l'air. Ces *turbo-ventilateurs* (fig. 32) ressemblent fort aux pompes-turbines à plusieurs phases Worthington (fig. 449 du premier volume) ; le fluide refoulé est l'air au lieu de l'eau. L'air aspiré entre par l'ouïe du premier ventilateur, est refoulé par l'impulseur I à la périphérie avec une grande vitesse, s'engage dans les canaux D des aubes de diffusion, à section croissante, dans lesquels sa force vive se transforme en pression. Il est ensuite aspiré par le second ventilateur, sa pression croît rapidement d'impulseur en impulsseur.

Le rendement de ces turbo-ventilateurs est excellent (75 0/0).

b) Générateur continu sous pression. — Dans la chambre de combustion pénètrent un courant d'air comprimé venant du turbo-ventilateur et des jets continus de pétrole sous pression, qui assurent un mélange intime du combustible et du comburant. Une étincelle enflamme ce mélange dont les gaz

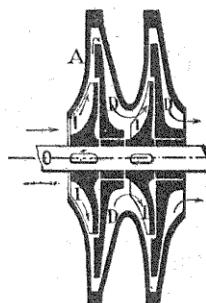


FIG. 32.

brûlés atteignent une température de 1.800° qu'il faut abaisser à 450°. A cet effet, M. Lemale entoure la chambre de combustion d'un serpentin à eau qui y déverse sa vapeur d'eau produite et réduit ainsi la température des gaz à 800°. En se détendant dans la tuyère pour parvenir aux aubes, la température tombe à 450°.

c) **Turbine.** — Elle est analogue à celle des turbines à vapeur.

43. Avantages des turbines à gaz. — 1° Leur simplicité de construction et de fonctionnement, partant leur robustesse et leur régularité, semblent devoir les faire adopter pour les automobiles, les aéroplanes, les canots, les torpilles automobiles. Mais il faudrait améliorer leur rendement thermique;

2° Le rendement de ces turbo-moteurs est susceptible d'être très élevé, puisqu'on peut utiliser une détente prolongée très loin en faisant le vide en aval.

Avouons cependant que jusqu'ici les constructeurs sont encore dans la période des essais qui exigeaient, d'après M. Lemale, la construction de turbines puissantes pour donner d'excellents résultats pratiques.

AUTOMOBILE

Le moteur à essence presque exclusivement employé dans la traction des voitures et canots automobiles comprend : 1^o le *carburateur* ; 2^o le *moteur proprement dit* ; 3^o un *dispositif d'allumage* ; 4^o un *appareil refroidisseur*.

X. — Carburateur

44. Rôle. — Cet organe a un double rôle à remplir :

1^o *Provoquer l'évaporation de l'essence ou de l'alcool.* On la facilite en utilisant de l'essence très volatile, bien rectifiée, pesant 680 à 700^g au litre, que l'on trouve dans le commerce sous le nom de gazoline, stelline, moteurine, benzo-moteur, moto-naphta. Pour l'alcool, moins volatile, que l'on peut employer pur ou carburé avec des benzols, il est nécessaire de le chauffer avec les gaz d'échappement du moteur ;

2^o *Réaliser le mélange tonnant le plus favorable pour obtenir une combustion complète et conséquemment le meilleur rendement du moteur à ses diverses allures.*

45. Carburateur à pulvérisation. — Les carburateurs à léchage par simple évaporation ou à barbotage ne sont plus employés, parce qu'ils ne permettent pas de réaliser la meilleure carburation correspondant à une proportion déterminée de comburant et de combustible.

Le carburateur à pulvérisation comprend : 1^o un *vase ou niveau constant A* ; 2^o un *mélangeur N* (*fig. 32 bis*).

Le flotteur B qui suit les variations du niveau de l'essence dans le réservoir commande un pointeau F qui, en bouchant plus ou moins l'arrivée du liquide, règle sa consommation.

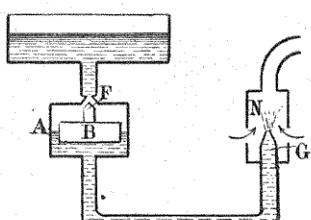


FIG. 32 bis.

L'aspiration du moteur crée dans le mélangeur une dépression qui fait jaillir en fine poussière l'essence du gicleur G dont le diamètre d'orifice est très petit. L'air aspiré se mélangue ainsi plus intimement avec l'essence.

Réglage. — La carburation est bonne quand le gaz d'échappement est incolore, sans fumée et presque inodore.

Pour l'obtenir, il faut augmenter ou diminuer l'admission d'air, selon que le moteur tourne plus ou moins rapidement. Le débit d'essence du gicleur croît en effet avec la dépression d'aspiration, par rapport au débit d'air. Cette rentrée d'air additionnelle, nécessaire aux fortes allures, peut être réglée par le conducteur comme dans le carburateur *Longuemarre* (fig. 33). L'essence emplissant la chambre M' gicle en jets pulvérisés par les rainures très fines de la tête du champignon pulvérisateur P et sature l'air aspiré passant dans le tube d'étranglement N. En agissant sur la manette S qui fait tourner la clef de

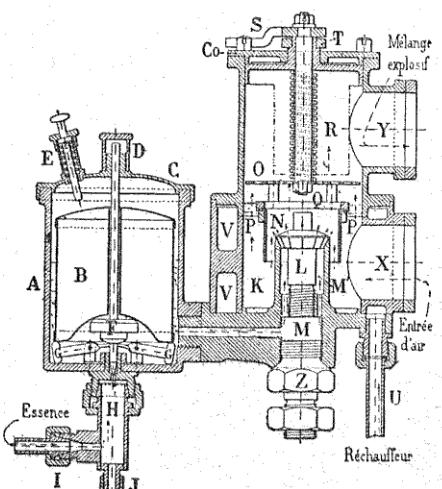


FIG. 33.

réglage Q, on couvre ou on découvre ainsi les échancrures P d'entrée d'air additionnelle.

46. Carburateurs automatiques. — La *rentrée d'air complémentaire* assurant la constance du mélange peut être automatique, commandée par la dépression du moteur comme le propose Krebs.

L'appareil automatique pour moteurs Panhard et Levassor (fig. 34) se compose d'un piston P de réglage automatique logé dans un cylindre dans lequel il se meut sans frottement grâce au joint constitué par une membrane souple et imperméable Q. Le piston est en communication sur une face avec la chambre de carburation, sur l'autre avec l'air extérieur par le petit trou S. Il est relié par une tige avec un clapet équilibré L. Quand la dépression est nulle, ce clapet obture les orifices a, a et b, b; lorsqu'elle augmente, elle vainc la résistance du ressort R, entraîne le clapet qui démasque les ouvertures d'entrée d'air additionnelle.

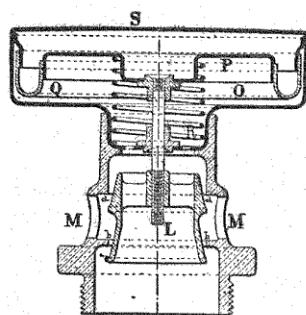


FIG. 34.

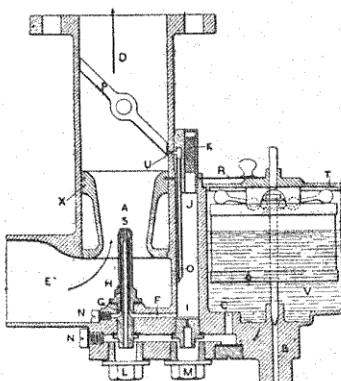


FIG. 35.

Dans le carburateur Zénith (fig. 35) des moteurs d'aviation, on applique un autre principe d'automatisme : *on adjoint au premier gicleur, qui débite trop peu d'essence aux faibles allures et trop aux grandes, un deuxième gicleur de faible débit.*

mais constant, insignifiant pour les grandes vitesses du moteur, relativement élevé aux petites vitesses. En calculant les diamètres des orifices des gicleurs, on peut réaliser une compensation parfaite.

Les deux gicleurs sont disposés concentriquement, les deux jets débouchent en S, le jet principal au centre, le compensateur tout autour.

Le gicleur annulaire H communique par le trou F avec la pipe J ouverte à l'extérieur où débite l'orifice calibré I.

La pression s'exerçant sur cet orifice étant la pression atmosphérique est constante et, par suite, les débits du gicleur I et du compensateur.

Dans la marche au *ralenti à vide*, l'admission des gaz est extrêmement faible. La dépression autour des gicleurs est insuffisante pour aspirer l'essence qui se déverse dans la pipe. La dépression existant en arrière du papillon P permet d'aspirer l'essence de la pipe par un tube auxiliaire O. La charge sur le gicleur I diminuant de la distance de l'orifice du gicleur à celui du tube O, son débit, et par suite celui du compensateur, augmente. On peut ainsi, par la plus ou moins grande longueur du tube O, régler le débit du compensateur et, par suite, la quantité d'essence nécessaire pour obtenir un bon ralenti à vide.

Cet artifice offre encore un autre avantage : à l'arrêt, la pipe se remplit d'essence jusqu'à hauteur du niveau constant. La mise en route est facilitée par cette réserve d'essence aspirée violemment par le tube O et pulvérisée sur la tranche du papillon. On n'a nullement besoin de noyer le flotteur.

XI. — Moteur

47. Généralités sur les moteurs monocylindriques et polycylindriques. — Les moteurs monocylindriques ne sont utilisés que pour des puissances réduites ne dépassant guère 8^{ch}, pour actionner des pompes, des essoreuses, des écrêmeuses, des machines à battre, des scies, des

raboteuses, des motocyclettes. Pour les voitures automobiles, on emploie des moteurs polycylindriques : 2, 3, 4, 6, 8 cylindres. Ces moteurs présentent sur les précédents les avantages suivants :

1^o Ils permettent d'obtenir une *grande puissance* sans présenter un trop grand encombrement ;

2^o Leur *équilibrage* est facile, il est d'autant plus parfait que le nombre des cylindres est plus grand ; avec deux ou quatre cylindres en calant les manivelles à 180°, on obtient une explosion à chaque tour de l'arbre au lieu d'une tous les deux tours avec le monocylindrique ; avec six ou huit cylindres, on peut obtenir un équilibrage parfait, les actions motrices successives pour chaque cylindre permettent de franchir les points morts très facilement, ce qui supprime toute trépidation nuisible à la bonne conservation des organes. La *régularité du couple moteur* permet d'alléger le volant, dont le poids serait sans cela considérable.

48. Description d'un moteur de voiture automobile. — La figure 36-37 représente un moteur de la voiture de Dion-Bouton 4910, d'une puissance de 14^{ch} à 1.400 tours par minute, à quatre cylindres fondus par paire. Le cycle est à quatre temps avec compression préalable, comme pour tous les moteurs d'automobile.

Les cylindres en acier, moulés avec grand soin pour que l'épaisseur des parois soit partout convenable, sont centrés dans le bâti au moyen d'une bague rapportée et boulonnés sur un **carter** en aluminium.

Les chambres d'admission, d'échappement et d'explosion du moteur constituant la **culasse** sont enveloppées d'une chemise de circulation d'eau pour le refroidissement du moteur.

Chaque groupe de deux cylindres est recouvert d'une **calotte** 21 séparée des chambres d'eau par des diaphragmes 32 pour éviter des courts-circuits dans la circulation.

Chaque cylindre ouvert à un bout est fermé par un bouchon fileté 27 qui sert en même temps de boulon de fixation de la calotte et de tubulure au **robinet de compression** 28. Ce robinet,

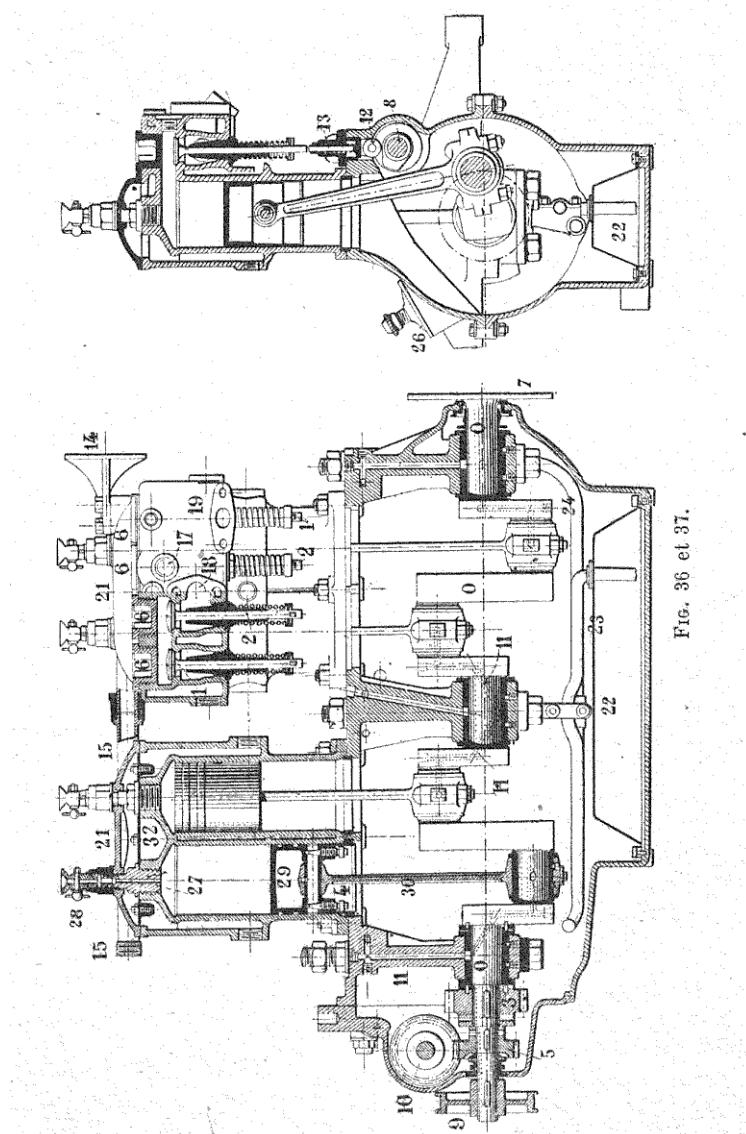


Fig. 36 et 37.

terminé par un petit entonnoir, permet d'introduire un peu d'essence pour faciliter le départ par temps froid ou du pétrole pour dégommer les segments du piston quand le moteur est dur à tourner. En l'ouvrant un peu avant l'arrêt, on évite la compression inutile des gaz lors de l'interruption de l'allumage.

Les pistons 29 en acier forgé sont articulés directement avec la bielle en acier estampé 30, le tourillon du piston est immobilisé par les vis 4 ; les bagues de roulement et les coussinets sont en bronze dur phosphoreux.

L'arbre-vilebrequin, en acier doux cémenté, repose sur trois paliers dont le plus long est le plus voisin de l'embrayage. A droite, il est terminé par un plateau 7 sur lequel est boulonné le volant.

A gauche, du côté de la distribution, il porte calés sur lui le pignon droit 3, qui commande l'arbre des cames de distribution 8 ; le pignon hélicoïdal 5, qui actionne l'arbre de commande de la magnéto et de la pompe à eau, cet arbre 10 tourne à la même vitesse que le moteur ; la poulie du ventilateur, qui active le courant d'air traversant le radiateur.

Distribution. — L'admission des gaz frais et l'échappement des gaz brûlés sont réglés par huit soupapes toutes commandées par le même arbre des cames 8 tournant deux fois moins vite que l'arbre moteur.

Il n'y a qu'une seule chambre d'admission 18 pour chaque paire de cylindre, tandis que les orifices d'échappement 19 sont séparés.

Les bougies sont vissées dans les trous taraudés 17 des culasses situés au-dessus des soupapes d'admission 2. Les clapets d'échappement 1 et d'admission étant situés côté à côté, les gaz frais voisinent toujours les pointes de la bougie lors de l'allumage et rendent ce dernier plus rapide. L'échappement des gaz brûlés se produit dans le silencieux, pot où les gaz sont obligés de passer dans des chicanes qui réduisent leur vitesse de sortie.

Les bouchons filetés 6 permettent la visite des soupapes, qui doivent être rodées lorsqu'elles se piquent. Les clapets en

acier au nickel, terminés par une longue queue guidée par la douille, sont rappelés sur leur siège par un ressort agissant sur une rondelle et une clavette en U de la tige ; ils sont soulevés par le poussoir 13 sur lequel agit le galet 12 recevant l'impulsion de la came 8.

Le graissage des paliers, des bielles, des pistons est aussi parfaitement compris.

Le bâti est fermé à sa partie inférieure par la cuvette en aluminium 22, réservoir d'huile.

Une pompe à engrenages logée dans le chapeau du premier palier de gauche, actionnée par l'arbre des cames, puise l'huile dans la cuvette sous le tamis 23 du fond du carter, graisse directement le premier palier et envoie l'huile aux deux autres paliers par un tuyau 24.

Des paliers, l'huile est distribuée par des conduits 11 pratiqués dans le vilebrequin aux coussinets des bielles, d'où la force centrifuge la chasse assez puissamment pour la projeter sur les pistons et cylindres, qu'elle graisse. Elle retombe ensuite dans la cuvette.

Ce mode de graissage automatique par circulation continue d'huile est préférable au barbotage des bielles et manivelles dans l'huile du carter qui projette celle-ci sur tous les organes.

49. Variantes des autres moteurs. — Les moteurs d'automobiles des autres marques diffèrent quelque peu de celui décrit plus haut. Les cylindres peuvent être en fonte mécanique spéciale, à chemise de circulation d'eau rapportée sans calotte, non jumelés. Le piston se fait aussi en fonte avec segments en fonte ou acier, la bielle peut être en acier coulé et montée sur des roulements à billes. L'arbre-vilebrequin est plein ou creux, les coudes sont équilibrés par des contrepoids et quelquefois remplacés par des plateaux-manivelles supprimant ces derniers et jouant le rôle de volant (moteur E. N. V.).

Les soupapes d'admission sont encore quelquefois automatiques, c'est-à-dire qu'elles s'ouvrent par l'aspiration du moteur et sont ramenées vivement sur leur siège par un ressort, dès que le piston remonte. On préfère actuellement les soupapes commandées, plus dociles et dont le fonctionnement est plus doux, par suite plus silencieux.

Dans beaucoup de moteurs, les clapets d'admission et d'échappement sont placés de chaque côté des cylindres, ce qui nécessite deux arbres de distribution.

50. Moteur sans soupapes (fig. 38). — Ce moteur récemment inventé par l'Américain Knight se rencontre dans les voitures Daimler et Minerva. Il fonctionne suivant le cycle à quatre temps. La distribution est réalisée par deux tubes fourreaux cylindriques D, E, coulissant entre le piston et le cylindre et l'un dans l'autre. Chaque fourreau D est attelé à un excentrique B monté sur l'arbre distributeur A tournant à la demi-vitesse du vilebrequin. La culasse R boulonnée sur le corps donne au fond du cylindre P une forme hémisphérique. De larges orifices horizontaux pratiqués dans les manchons permettent l'admission et l'échappement des gaz. Le calage des excentriques est fait de telle sorte que les deux fourreaux intérieur et extérieur prennent successivement les diverses positions des figures 39-42 pour les quatre périodes du cycle.

Les fuites de gaz ne sont pas à craindre, comme on pourrait le croire ; les surfaces glissantes sont revêtues d'une couche d'huile qui subsiste, grâce au mouvement des fourreaux et à la présence de la chemise d'eau. Le segment inférieur de la culasse contribue à assurer la compression. L'usure rapide des fourreaux est évitée par le frottement de fonte contre fonte et le graissage abondant assuré par des rainures hélicoïdales.

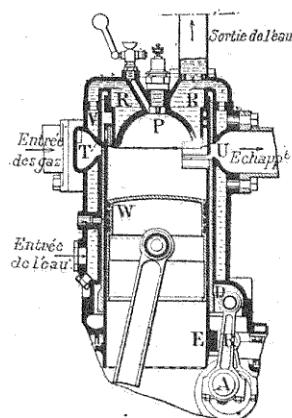


FIG. 38.

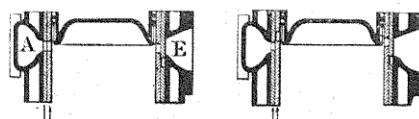


FIG. 39-40.

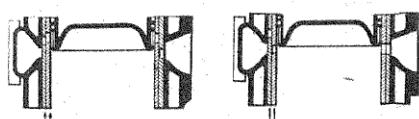


FIG. 41-42.

Ce moteur offre l'avantage d'un fonctionnement *absolument silencieux* et en même temps très doux. Sa souplesse est aussi à signaler, elle est due à la forme hémisphérique de la chambre d'explosion assurant le minimum de surface de parois refroidissantes, à l'absence de cavités où pourraient se réfugier les gaz brûlés, à l'entrée et à la sortie directe des gaz. En outre, la simplicité du système est une garantie de fonctionnement régulier en ne laissant place à aucune éventualité de dérangement.

A noter le mode de graissage des « Daimler 4910 » établi pour qu'un excès d'huile ne puisse subsister, et par suite, faire fumer le moteur. Une

profonds ne pouvant contenir qu'une quantité d'huile déterminée. « Quand l'arbre-manivelle tourne, les écopes disposées aux extrémités font jaillir l'huile hors des augets (placés en dessous de chaque arbre de commande) sur les coussinets et les pistons. L'huile en excès est ensuite drainée vers le réservoir inférieur à travers un filtre métallique. »

51. Moteur duplex Boudréaux-Verdet. — Dans les moteurs précédents dits **simplex**, le piston ne reçoit qu'une fois l'action des gaz brûlés durant les quatre temps du cycle; en le soumettant deux fois à l'action de ces gaz pendant un double tour du vilebrequin, on obtient le moteur **duplex**. Nous décrirons sommairement le *bi-duplex* Boudréaux-Verdet qui, monté sur la vedette d'escadre *Jacqueline-III*, a donné des résultats merveilleux.

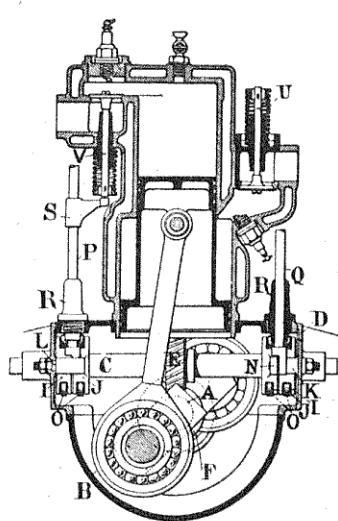


Fig. 43. — Coupe verticale d'un moteur Boudréaux-Verdet par l'un des cylindres.

A, arbre moteur ; — C, arbre transversal de demi-vitesse ; — D, plateau supportant les leviers ; — E, F, roues hélicoïdales de commandes ; — I, J, leviers de manœuvre des soupapes ; — K, L, axes des leviers ; — O, O', galets des leviers ; — P, Q, tiges de commande ; — R, R, guide des tiges de soupapes ; — S, marteau démontable de soupape ; — U, une des soupapes de la chambre annulaire ; — V, une des soupapes de la chambre cylindrique.

petit. Les quatre soupapes d'admission et les quatre d'échappement sont commandées par quatre cames agissant sur quatre leviers actionnant quatre tiges, portant chacune une paire de marteaux démontables

Il est formé par deux moteurs duplex accolés. Chaque moteur comporte un cylindre dans lequel se meuvent un piston à deux étages. Les deux cylindrées, l'une cylindrique, l'autre annulaire, ont même volume. L'allumage dans les deux chambres d'explosion est provoqué par deux couples de bougies diamétralement opposées pour permettre une inflammation rapide de tout le mélange carburé.

Les explosions se produisent pour chaque chambre à intervalles égaux de telle sorte que les actions motrices sur les deux étages du piston, également espacées, régularisent le couple moteur. Le monocylindrique duplex équivaut donc à un bicylindrique simplex et le bi-duplex à un quatre cylindres simplex. L'encombrement du duplex est moindre, sa construction est simplifiée, son rendement par suite est meilleur, le nombre des organes étant plus

Notons aussi la tête de bielle à roulement à billes diminuant le frottement, les chances de grippage, facilitant le passage des points morts.

D'après Lavergne, voici les avantages de ces moteurs sur les moteurs ordinaires :

- 1° Consommation d'essence réduite de 10 à 30 %;
- 2° Encombrement inférieur de 30 %;
- 3° Poids inférieur de 40 %;
- 4° Grande facilité d'entretien et longue durée de fonctionnement;
- 5° Prix de revient réduit de 40 %.

C'est pourquoi c'est un excellent moteur marin luttant avantageusement avec des moteurs légers dont nous parlerons en aéronautique.

52. Puissance d'un moteur. — Elle dépend :

- 1° De la cylindrée : volume de gaz tonnant absorbé par le moteur à chaque cycle;
- 2° Du pouvoir calorifique de l'essence et du rendement thermique du moteur;
- 3° Du nombre de cylindres du moteur et de tours par minute.

La *cylindrée* est le volume engendré par le piston, soit $\frac{\pi d^2 l}{4}$, d étant l'alésage : 90 à 120 mm, l la course : 100 à 160 mm. Ringelmann admet que, pour brûler 1 kg d'essence, il faut 16,3 kg d'air, ce qui dégage 11 calories correspondant à $425 \text{ kJ/kg} \times 11 = 4.675 \text{ kJ}$. En supposant au moteur un rendement thermique de 15 %, la consommation de 1 kg d'essence engendre un travail de

$$\frac{4.675 \text{ kJ} \times 15}{100} = 715 \text{ kJ}.$$

Si le moteur fait n tours par minute pour chaque cylindre, le nombre d'explosions est $\frac{n}{2 \times 60}$ théoriquement; réduisons-le pratiquement à $\frac{n}{135}$.

Le poids d'essence consommé par seconde est alors $\frac{1}{16,3} \times \frac{n}{135} \times V$, V étant le volume en litres de la cylindrée. La puissance en chevaux du moteur par cylindre est :

$$\frac{715 \times n \times V}{16,3 \times 135 \times 75} = 0,00340 d^2 l n,$$

d et l étant exprimés en décimètres, ou $3,4 d^2 l n$ en exprimant ces deux longueurs en mètres.

Witz suppose que la pression moyenne est de 4,25 par centimètre carré le travail par seconde est alors :

$$4,25 \times \frac{\pi d^2}{4} \times l \times \frac{n}{135},$$

la puissance en HP est donc :

$$\frac{4,25 \times 3,14}{4 \times 135 \times 75} d^2 l n = 0,000329 d^2 l n,$$

l étant exprimé en mètres et d en centimètres; si on exprime d en mètre

également, la puissance indiquée est : $3,29d^2ln$. En admettant un rendement organique de 0,85, la puissance utile tombe à :

$$3,29 \times 0,85d^2ln = 2,8d^2ln.$$

Il y a d'autres formules approchées telles que celle-ci :

$$\text{Puissance} = 0,07R^2 \sqrt{l}.$$

Toutes ces formules ne sont qu'approchées, car le rendement thermique varie avec des moteurs de construction identique et de consommation semblable, il est de plus fonction de la longueur et de la course du piston. Il est le meilleur, d'après Brasier, pour de grandes courses voisines de 180 mm.

XII. — Allumage

L'allumage ou inflammation de l'air carburé après sa compression préalable peut être opéré soit par l'incandescence, soit par l'étincelle électrique.

53. Allumage par incandescence. — L'essence pénètre sous pression dans des brûleurs analogues au Longuemarre de la figure 44 et porte au rouge blanc le tube de platine ou de nickel T fixé dans la culasse du moteur. Pendant l'échappement, une partie des gaz brûlés reste à l'intérieur du tube ; lors de la compression, ces gaz sont d'abord refoulés, puis les gaz frais pénètrent dans le tube et, se trouvant en contact avec sa partie incandescente, à la fin de la compression, s'enflamment alors et propagent l'explosion à tout le mélange tonnant. Pour allumer le brûleur, amorcer en ouvrant la vis pointeau V et enflammer de l'alcool versé dans la cuvette C.

L'allumage par incandescence est *régulier*, mais par contre

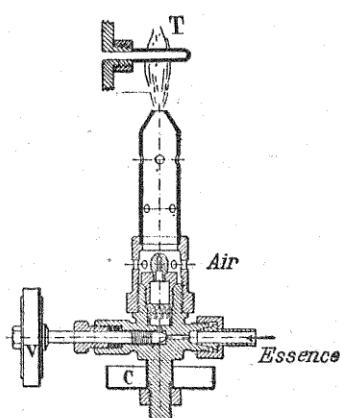


FIG. 44.

marre de la figure 44 et porte au rouge blanc le tube de platine ou de nickel T fixé dans la culasse du moteur. Pendant l'échappement, une partie des gaz brûlés reste à l'intérieur du tube ; lors de la compression, ces gaz sont d'abord refoulés, puis les gaz frais pénètrent dans le tube et, se trouvant en contact avec sa partie incandescente, à la fin de la compression, s'enflamment alors et propagent l'explosion à tout le mélange tonnant. Pour allumer le brûleur, amorcer en ouvrant la vis pointeau V et enflammer de l'alcool versé dans la cuvette C.

il ne permet pas de profiter des avantages dé l'avance à l'allumage et il peut être *dangereux* en occasionnant l'incendie du moteur par l'inflammation de l'essence. Ainsi est-il peu employé.

54. Allumage électrique. — **Principe.** — Des piles, des accumulateurs, une dynamo ou une magnéto produisent un courant à basse tension dit **primaire**. Le faible voltage (2 à 12 volts) de ce courant ne peut produire une étincelle assez chaude pour allumer l'air carburé. On envoie le courant dans un **transformateur** (bobine de Ruhmkorf) qui, l'interrompant très souvent au moyen d'un **rupteur**, donne naissance à un courant de haute tension dit **secondaire**, susceptible de produire l'explosion.

Un appareil appelé **distributeur**, placé sur ce circuit, fait jaillir l'étincelle entre les pointes d'une **bougie** successivement pour chacun des cylindres. Enfin un **commutateur** sert à couper ou à établir l'allumage.

55. Accumulateurs. — L'allumage par accumulateurs seuls présente l'inconvénient de faire recharger les accumulateurs après cent heures de marche environ, opération délicate et longue qui n'est pas partout facile. Pour obvier à cet inconvénient, on leur adjoint, pour les recharger, une dynamo montée en dérivation sur le circuit des accumulateurs et actionnée par friction sur le volant du moteur. L'encombrement des accumulateurs s'associant à l'inconvénient précédent, on leur préfère la magnéto pour l'allumage.

56. Magnéto et bougies. — Ce système se compose de :

- 1^o La **magnéto**, produisant le courant primaire de faible tension (12 volts environ);
- 2^o La **bobine d'induction ou transformateur**, transformant le courant précédent en un courant de haute tension (15.000 à 20.000 volts);
- 3^o Le **distributeur**;
- 4^o La **bougie**.

La magnéto est constituée par un aimant en acier doux en forme de fer à cheval, qui crée un champ magnétique dans lequel tourne un induit. Dans le fil de celui-ci se développe un courant alternatif à basse tension, que l'on recueille à l'aide de deux balais ou d'un seul en reliant l'une des extrémités du fil à la masse. En langage de mécanicien, relier à la masse, c'est fermer le courant au moyen de la masse métallique du moteur, on supprime ainsi les fils de retour.

L'interrupteur I (*fig. 46*) comprend deux vis platinées T_1 , T_2 dont l'une mobile, T_1 , abandonne le contact au passage d'une came montée généralement sur l'arbre de la magnéto.

Le plus souvent, le primaire de la bobine est constitué par l'induit de la magnéto et le secondaire formé par un fil très fin et très long entoure le primaire de fil gros et court.

Le distributeur D est monté sur un arbre de demi-vitesse du moteur. Le courant secondaire y arrive par un balai en charbon t qui est maintenu par un ressort en contact avec un collecteur r , qui porte une pièce de cuivre isolée dans un disque de fibre. Quatre doigts en acier d_1 , d_2 , d_3 , d_4 s'appuient sur le disque; comme ils sont reliés chacun à une bougie des quatre cylindres, le circuit secondaire se ferme successivement sur chaque bougie et produit quatre étincelles successives, pour deux tours du moteur.

La bougie (*fig. 45*) est formée d'une tige conductrice métallique T isolée par une douille de porcelaine ou de mica A

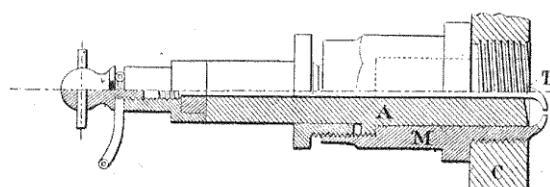


FIG. 45.

disposée dans une monture métallique M vissée dans la culasse du moteur C. L'étincelle jaillit entre l'extrémité de la tige recourbée et pointue, comme sur la figure, et une autre pointe

de la monture distante de un demi-millimètre environ. Le courant venant du fil suit la tige, la monture et se ferme par la culasse et la masse du moteur. Il existe de nombreuses variétés de bougies, les pointes de l'armature métallique peuvent être multiples, la tige conductrice peut être terminée par un disque à facettes dont les arêtes sont très proches du cylindre de la monture (un demi-millimètre).

57. Connexion des fils pour l'allumage par magnéto à balai (fig. 46). — Le commutateur présente cinq

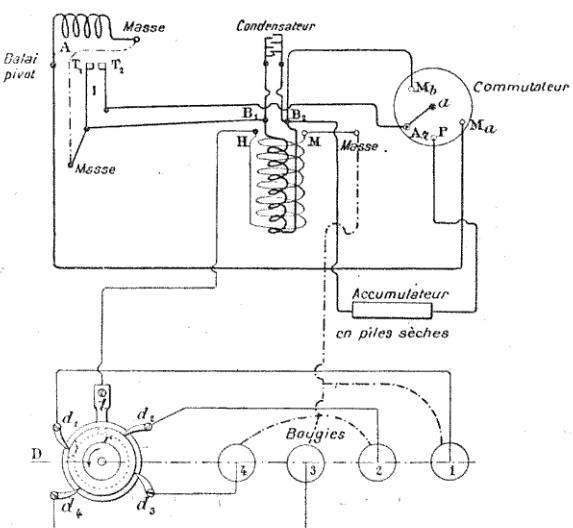


Fig. 46.

plots isolés P, a, Ma, Mb, Ar. Sur ceux-ci se déplace un levier conducteur égal au diamètre intérieur du commutateur capable de relier Ma et Mb. Quand le levier occupe la position Ma, a, Mb, le courant primaire suit le chemin A, Ma, Mb, B₂, B₁ et se ferme à la masse, si les deux vis platinées du trembleur T₁ et T₂ ne sont pas en contact. Si elles sont en contact, il

préndra de préférence le chemin A, Ma, a, Ar, T₂, T₃ se fermant à la masse, parce que ce circuit offre bien moins de résistance que le précédent, il ne passera pas dans la bobine.

Pour couper l'allumage, placer le levier sur le plot Ar, qui met le courant primaire en court-circuit.

Si la magnéto vient à s'arrêter, glisser le levier sur le plot P qui met en service une batterie de piles sèches ou d'accumulateurs de secours.

58. Magnéto Bosch. — Nous donnons (fig. 47) la coupe longitudinale et la vue arrière d'une magnéto à bougie

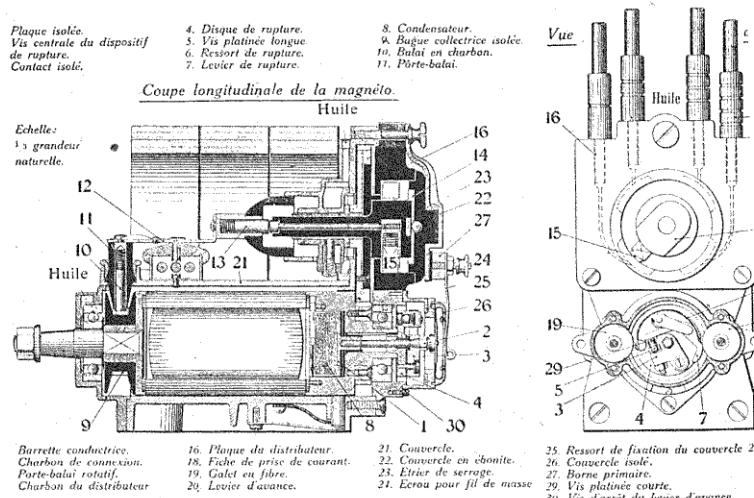


FIG. 47.

Bosch. Le dispositif de rupture est quelque peu différent de celui décrit plus haut. Le circuit primaire est fermé, puis ouvert par le levier de rupture 7, qui vient basculer deux fois par tour sur les galets en fibre 19.

Le distributeur est aussi différent. Le courant secondaire

est amené du charbon 10 de la magnéto, isolé par le porte-balai 11, par une barrette métallique 12, au charbon de connexion 13, puis au porte-balai rotatif 14 et au charbon frotteur radial 15. Ce balai vient successivement en contact avec quatre plots noyés et leur amène le courant à haute tension. Chaque plot est relié à une douille en laiton noyée dans la masse isolante; chaque douille reçoit une fiche 18 fixée à l'extrémité d'un câble de bougie.

59. Allumage par magnéto tournante. — On utilise l'étincelle produite par un extra-courant de rupture d'une magnéto qui débite un courant de faible tension, 50 à 100 volts.

Le dispositif comprend :

- 1^o La **magnéto**, tournant à la même vitesse que le moteur;
- 2^o L'inflammateur, vissé dans la culasse du cylindre entouré d'eau pour éviter son échauffement;
- 3^o Le **rupteur**, formé d'un culbuteur actionné par la came d'allumage et le poussoir et agissant sur la palette de l'inflammateur (rupteur Brasier).

60. Avance à l'allumage. — L'étincelle n'enflamme pas instantanément tout le gaz emprisonné sous le piston; l'allumage se produit de proche en proche et exige un temps appréciable relativement à la durée de la montée du piston, qui n'est que de 0,02 seconde environ. Il ya donc intérêt à avancer quelque peu l'allumage pour que l'explosion du gaz soit terminée au moment où le piston commence à redescendre, surtout pour les grandes vitesses.

On réalise pratiquement cette avance en déplaçant le rupteur par le pivotement de la plaque isolante le supportant et en décalant l'induit de la magnéto pour que là maximum de tension du courant se produise toujours lors de la rupture.

Sur les magnétos à haute tension, cette modification du moment d'allumage est moins nécessaire, l'avance est provoquée automatiquement par l'accélération de la vitesse produisant une élévation très notable de la tension.

XIII. — Refroidissement du moteur

61. Nécessité du refroidissement. — Les explosions se produisant dans le cylindre à des intervalles de temps très petits (0,10 à 0,03 seconde), la température variant entre 1.500 et 2.000°, il s'ensuit un échauffement considérable du cylindre qui entraînerait rapidement la décomposition des huiles de graissage et conséquemment le grippage du piston. Les huiles ne résistent guère à une température supérieure à 300°, aussi faut-il rafraîchir le cylindre et la culasse.

On réalise ce refroidissement, soit :

- 1^o En garnissant le cylindre d'ailettes pour les faibles puissances ;
- 2^o Par une circulation d'eau autour du cylindre.

62. Refroidissement par ailettes. — Pour les petits moteurs au-dessous de 5 HP, les ailettes, venues de fonte ou rapportées en cuivre plus conducteur que la fonte, entourent le haut du cylindre et la chambre d'explosion et exaltent le refroidissement par leur grande surface extérieure. Le déplacement du moteur produit le courant d'air suffisant pour refroidir les moteurs de motocyclettes (*fig. 76*). Sur les voitures, un petit ventilateur augmente le courant d'air.

63. Refroidissement par circulation d'eau. — Le cylindre et la culasse du moteur sont entourés d'une enveloppe ou *chemise*, dans laquelle l'eau arrivant par la tubulure inférieure s'échauffe, monte et sort par la tubulure supérieure.

Cette chemise est venue de fonte ou mieux rapportée comme dans le cylindre E. N. V. La paroi de l'enveloppe est en cuivre pur électrolytique, son épaisseur est faible, sa conductibilité haute, le pouvoir émissif du métal est élevé, aussi le refroidissement est-il rapide. La circulation d'eau est régulière et parfaite, nullement gênée par les cloisons transversales inévitables dans les chemises coulées d'un seul jet avec les cylindres.

La circulation d'eau est ordinairement *forcée*; le système comprend alors les appareils suivants :

- 1^o Le *réservoir*;
- 2^o La *pompe centrifuge ou à engrenages*;
- 3^o Le *radiateur*;
- 4^o Le *manomètre*.

Réservoir. — Il est placé ordinairement à l'arrière et contient une assez grande quantité d'eau; s'il est à l'avant, il contient moins d'eau et entoure le radiateur. Le radiateur nid d'abeilles sert de réservoir.

Pompe. — La pompe reçoit ordinairement l'eau du réservoir et la refoule dans la chemise du moteur, mais elle peut être aussi placée entre le radiateur et le moteur ou le radiateur et le réservoir. Elle assure dans tous les cas la circulation dans le circuit fermé, quelle soit la disposition adoptée.

La pompe à engrenages, ne pouvant tourner à plus de 500 tours, est commandée par l'arbre de demi-vitesse du moteur.

La pompe centrifuge est ordinairement actionnée par la friction de son volant à garniture de cuir sur celui du moteur. Elle peut aussi être entraînée par engrenages: un pignon denté en prise avec une roue commandée par l'arbre à cames par exemple.

Radiateur. — C'est le refroidisseur de l'eau chaude.

Il existe de nombreuses variétés de radiateurs.

Le radiateur à *ailettes* est constitué par un tube en serpentins garni d'ailettes pour exalter le refroidissement. Placé ordinairement en avant de la voiture, le mouvement de celle-ci engendre un courant d'air frais entre les ailettes et assure le refroidissement, qui peut être encore accéléré par l'adjonction d'un ventilateur.

Le radiateur **nid d'abeilles** (*fig. 48*) est formé par des bandes de laiton plissées à angle droit, couturées par des fils métalliques, et soudées.

Le radiateur est placé à l'avant, la caisse d'eau est derrière lui; l'eau chaude arrive à la partie supérieure de la caisse, descend entre les deux lames de laiton A, B, dont l'intervalle

très faible est uniforme ; elle se refroidit sous l'action de l'air frais affluant par les conduits alvéolaires C.

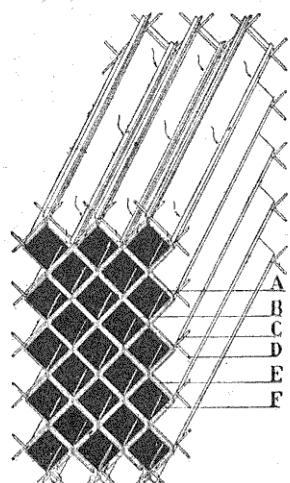


FIG. 48.

Dans le radiateur cloisonné (*fig. 49*), le réservoir qui l'entoure est divisé en deux parties par les cloisons E et F.

Les tubes à ailettes horizontaux réunissent les deux comparti-

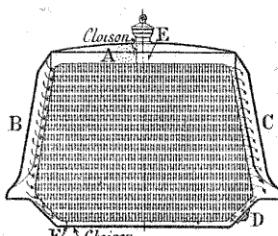


FIG. 49.

ments. L'eau entre en A, sort en D, après avoir traversé les tubes qui la refroidissent.

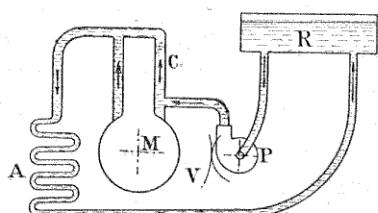


FIG. 50.

M, moteur ; — R, réservoir d'eau ; — A, radiateur ; — C, chemise du moteur ; — P, pompe centrifuge ; — V, volant de friction commandant la pompe.

Manomètre. — Tantôt à pression, tantôt à dépression, il permet de se rendre compte de la circulation de l'eau pendant la marche.

Schéma de circulation d'eau. — La figure 50 représente un des circuits possibles pour la circulation de l'eau.

64. Circulation par thermo-siphon. — Pour les petits moteurs ou les moteurs fixes, on peut supprimer la pompe, on applique le principe du thermo-siphon. On dispose

le réservoir d'eau en charge par rapport à la culasse du moteur et on le relie à la chemise de celui-ci par des tuyaux de grosse section avec coudes de grand rayon.

Les couches chaudes d'eau de l'enveloppe montent, sont remplacées par celles du réservoir qui sont froides. On adopte un radiateur non formé de tubes coudés qui offrent une trop grande résistance au passage de l'eau.

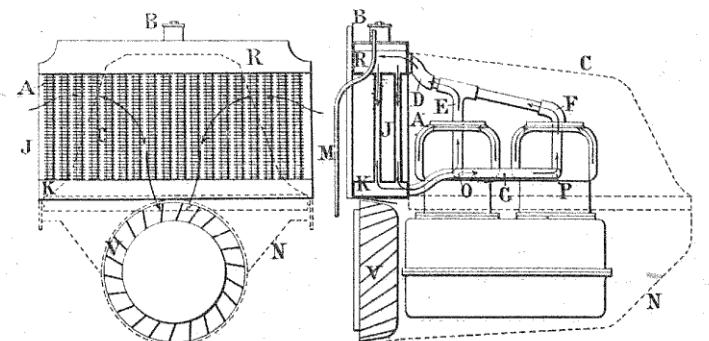


FIG. 54. — Schéma du dispositif de refroidissement sans pompe, par thermo-siphon, employé sur les voitures Renault.

A, sens de la circulation d'air; — B, bouchon de réservoir d'eau. — C, capot; — D, raccord de retour d'eau; — E, F, tubulures de sortie d'eau hors des cylindres; — G, tuyau amenant aux cylindres l'eau refroidie; — J, tuyaux refroidisseurs; — K, K, collecteur inférieur du radiateur; — M, tuyau de trop-plein; — N, tôle envelopant le dessous du moteur et du volant-ventilateur; — O, P, entrées de l'eau dans les groupes de cylindres; — R, collecteur supérieur du radiateur; — V, volant-ventilateur.

Dans les deux cas de circulation d'eau en circuit fermé, c'est toujours la même eau qui est utilisée ; les pertes proviennent des fuites des raccords de tuyauterie ou de l'évaporation et sont très légères.

Pour éviter la congélation de l'eau, l'hiver, on y mélange 30 0/0 de glycérine, on prévient ainsi la rupture des conduites ou des chemises.

65. Mise en marche du moteur. — Elle peut se faire au moyen d'une manivelle de lancement ou automatiquement.

a) **Mise en marche à la main.** — Après avoir constaté que les réservoirs d'essence, d'eau et d'huile sont remplis, tourner le robinet mettant en communication le réservoir d'essence avec le carburateur, pousser la manivelle de lancement de telle sorte que la noix à dent que porte son arbre soit en prise avec les dents de la noix antagoniste clavetée sur le vilebrequin et tourner rapidement la manivelle.

Sitôt les premières explosions produites, lâcher la manivelle, qui, poussée par son ressort, revient occuper sa position de repos primitive.

En cas de difficultés, introduire de l'essence par le robinet de compression, ou appuyer sur le poussoir du carburateur, qui, pressant le flotteur, fait déborder l'essence. Un décompresseur, levier maintenant soulevée la soupape d'échappement, facilite la mise en marche.

b) **Mise en marche automatique.** — Nous étudierons à titre d'exemple, le système de mise en marche automatique à air comprimé des voitures Renault.

Principe. — Quand le piston se trouve au temps d'allumage, on envoie dans les cylindres de l'air comprimé qui pousse le piston en se détendant.

Le système comprend : un compresseur, un robinet de distribution, une bouteille et un distributeur.

Le compresseur d'air 1 fournissant l'air comprimé se compose d'une culasse portant le clapet d'aspiration et celui de refoulement et d'un cylindre dans lequel se meut le piston actionné par une bielle et une manivelle calée au bout de l'arbre à cames.

L'air comprimé est envoyé dans la bouteille 14, fixée le long du longeron du châssis, en passant par le robinet de distribution 13. Quand la pression dans la bouteille est assez élevée (20^{kg} environ), une membrane repoussée par l'air s'appuie sur le clapet d'aspiration et le maintient constamment ouvert : le compresseur marche alors à vide sans absorber de puissance.

Pour la mise en marche, on appuie sur un levier 11, qui ouvre le clapet 12 permettant à l'air comprimé d'arriver au distributeur 9. Celui-ci comprend : 1^o une chambre cylindrique

communiquant par des conduits avec chacun des cylindres ;
2° un tambour tournant à l'intérieur, mû par un arbre à cardan

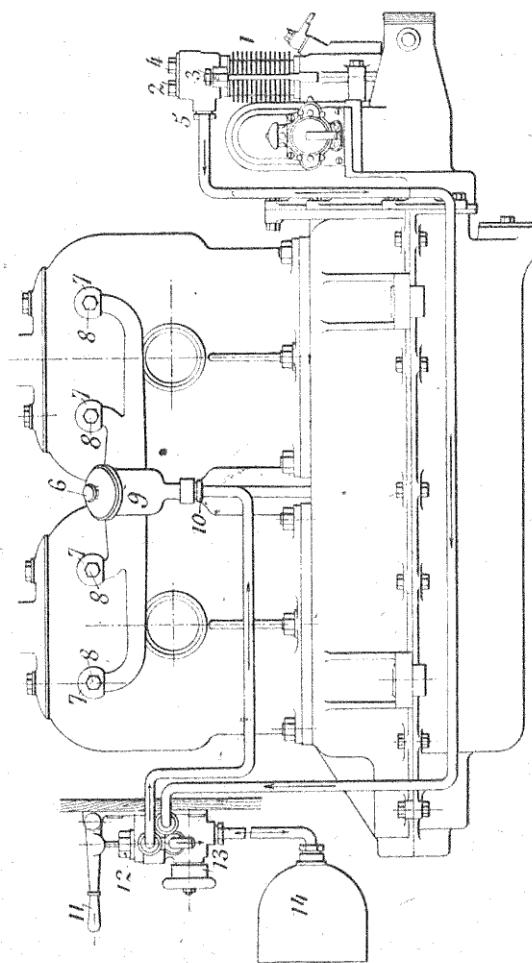


FIG. 52.

portant un pignon hélicoïdal commandé par l'arbre à came fileté. Les fenêtres du tambour démasquent la conduite d'aspiration au moment de l'explosion ; l'air comprimé pénètre

dans le cylindre après avoir repoussé un clapet 8 qui l'obture en temps normal.

Un dispositif permet de gonfler les pneus avec l'air comprimé de la bouteille.

56. Recherches à faire en cas d'arrêt ou de mauvais fonctionnement du moteur, d'après Clément:

Si le moteur part difficilement ou marche mal. La cause peut être :

- | | |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>du côté de la compression</i> | 1. Vis de butoir mal réglées.
2.Soupapes encrassées et ne fermant plus.
3. Ressorts de soupape trop mous.
4. Clavettes de soupapes cassées.
5. Segments gommés.
6. — cassés.
7. Piston fendu.
8. Cylindre fendu.
9. Robinet d'essence fermé.
10. Filtre obstrué.
11. Corps étranger dans les tuyaux.
12. Ressort de prise d'air cassé ou perdu.
13. Gicleur bouché.
14. Fuite à la pipe d'admission.
15. Pas de trou dans le bouchon du réservoir.
16. Eau dans l'essence.
17. Bougies sales ou mal réglées (pointes trop écartées).
18. Rupteur mécanique resté levé.
19. Vis platinées mal réglées.
20. Prises de courant sautées.
21. Fils de bougies intervertis.
22. Fils de masse dénudé.
23. Interrupteur défectueux.
24. Allumage déréglé (trop d'avance).
25. Mauvaises bougies (restent incandescentes).
26. Pistons couverts de coke (les gratter).
27. Mauvaise carburation.
28. Le moteur qui chauffe.
29. Jeu dans les bielles.
30. Carburateur déréglé (trop d'essence).
31. Allumage déréglé (trop de retard).
32. Pot d'échappement bouché.
33. Mauvais réglage.
34. Gouttes d'étain provenant du radiateur obstruant un tube de circuit d'eau.
35. Rotules en caoutchouc obstruant les orifices d'eau.
36. La turbine tourne folle sur son arbre.
37. Arbre de turbine de la normale brisé. |
| <i>du côté du carburateur</i> | 1. Vis de butoir mal réglées.
2.Soupapes encrassées et ne fermant plus.
3. Ressorts de soupape trop mous.
4. Clavettes de soupapes cassées.
5. Segments gommés.
6. — cassés.
7. Piston fendu.
8. Cylindre fendu.
9. Robinet d'essence fermé.
10. Filtre obstrué.
11. Corps étranger dans les tuyaux.
12. Ressort de prise d'air cassé ou perdu.
13. Gicleur bouché.
14. Fuite à la pipe d'admission.
15. Pas de trou dans le bouchon du réservoir.
16. Eau dans l'essence.
17. Bougies sales ou mal réglées (pointes trop écartées).
18. Rupteur mécanique resté levé.
19. Vis platinées mal réglées.
20. Prises de courant sautées.
21. Fils de bougies intervertis.
22. Fils de masse dénudé.
23. Interrupteur défectueux.
24. Allumage déréglé (trop d'avance).
25. Mauvaises bougies (restent incandescentes).
26. Pistons couverts de coke (les gratter).
27. Mauvaise carburation.
28. Le moteur qui chauffe.
29. Jeu dans les bielles.
30. Carburateur déréglé (trop d'essence).
31. Allumage déréglé (trop de retard).
32. Pot d'échappement bouché.
33. Mauvais réglage.
34. Gouttes d'étain provenant du radiateur obstruant un tube de circuit d'eau.
35. Rotules en caoutchouc obstruant les orifices d'eau.
36. La turbine tourne folle sur son arbre.
37. Arbre de turbine de la normale brisé. |
| <i>du côté de l'allumage par magnéto. Voir</i> | 1. Vis de butoir mal réglées.
2.Soupapes encrassées et ne fermant plus.
3. Ressorts de soupape trop mous.
4. Clavettes de soupapes cassées.
5. Segments gommés.
6. — cassés.
7. Piston fendu.
8. Cylindre fendu.
9. Robinet d'essence fermé.
10. Filtre obstrué.
11. Corps étranger dans les tuyaux.
12. Ressort de prise d'air cassé ou perdu.
13. Gicleur bouché.
14. Fuite à la pipe d'admission.
15. Pas de trou dans le bouchon du réservoir.
16. Eau dans l'essence.
17. Bougies sales ou mal réglées (pointes trop écartées).
18. Rupteur mécanique resté levé.
19. Vis platinées mal réglées.
20. Prises de courant sautées.
21. Fils de bougies intervertis.
22. Fils de masse dénudé.
23. Interrupteur défectueux.
24. Allumage déréglé (trop d'avance).
25. Mauvaises bougies (restent incandescentes).
26. Pistons couverts de coke (les gratter).
27. Mauvaise carburation.
28. Le moteur qui chauffe.
29. Jeu dans les bielles.
30. Carburateur déréglé (trop d'essence).
31. Allumage déréglé (trop de retard).
32. Pot d'échappement bouché.
33. Mauvais réglage.
34. Gouttes d'étain provenant du radiateur obstruant un tube de circuit d'eau.
35. Rotules en caoutchouc obstruant les orifices d'eau.
36. La turbine tourne folle sur son arbre.
37. Arbre de turbine de la normale brisé. |
| <i>Si le moteur cogne. Le bruit peut être produit par :</i> | 1. Vis de butoir mal réglées.
2.Soupapes encrassées et ne fermant plus.
3. Ressorts de soupape trop mous.
4. Clavettes de soupapes cassées.
5. Segments gommés.
6. — cassés.
7. Piston fendu.
8. Cylindre fendu.
9. Robinet d'essence fermé.
10. Filtre obstrué.
11. Corps étranger dans les tuyaux.
12. Ressort de prise d'air cassé ou perdu.
13. Gicleur bouché.
14. Fuite à la pipe d'admission.
15. Pas de trou dans le bouchon du réservoir.
16. Eau dans l'essence.
17. Bougies sales ou mal réglées (pointes trop écartées).
18. Rupteur mécanique resté levé.
19. Vis platinées mal réglées.
20. Prises de courant sautées.
21. Fils de bougies intervertis.
22. Fils de masse dénudé.
23. Interrupteur défectueux.
24. Allumage déréglé (trop d'avance).
25. Mauvaises bougies (restent incandescentes).
26. Pistons couverts de coke (les gratter).
27. Mauvaise carburation.
28. Le moteur qui chauffe.
29. Jeu dans les bielles.
30. Carburateur déréglé (trop d'essence).
31. Allumage déréglé (trop de retard).
32. Pot d'échappement bouché.
33. Mauvais réglage.
34. Gouttes d'étain provenant du radiateur obstruant un tube de circuit d'eau.
35. Rotules en caoutchouc obstruant les orifices d'eau.
36. La turbine tourne folle sur son arbre.
37. Arbre de turbine de la normale brisé. |
| <i>Si le moteur chauffe. Vérifier les points suivants :</i> | 1. Vis de butoir mal réglées.
2.Soupapes encrassées et ne fermant plus.
3. Ressorts de soupape trop mous.
4. Clavettes de soupapes cassées.
5. Segments gommés.
6. — cassés.
7. Piston fendu.
8. Cylindre fendu.
9. Robinet d'essence fermé.
10. Filtre obstrué.
11. Corps étranger dans les tuyaux.
12. Ressort de prise d'air cassé ou perdu.
13. Gicleur bouché.
14. Fuite à la pipe d'admission.
15. Pas de trou dans le bouchon du réservoir.
16. Eau dans l'essence.
17. Bougies sales ou mal réglées (pointes trop écartées).
18. Rupteur mécanique resté levé.
19. Vis platinées mal réglées.
20. Prises de courant sautées.
21. Fils de bougies intervertis.
22. Fils de masse dénudé.
23. Interrupteur défectueux.
24. Allumage déréglé (trop d'avance).
25. Mauvaises bougies (restent incandescentes).
26. Pistons couverts de coke (les gratter).
27. Mauvaise carburation.
28. Le moteur qui chauffe.
29. Jeu dans les bielles.
30. Carburateur déréglé (trop d'essence).
31. Allumage déréglé (trop de retard).
32. Pot d'échappement bouché.
33. Mauvais réglage.
34. Gouttes d'étain provenant du radiateur obstruant un tube de circuit d'eau.
35. Rotules en caoutchouc obstruant les orifices d'eau.
36. La turbine tourne folle sur son arbre.
37. Arbre de turbine de la normale brisé. |

le moteur fume :

- | | |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>le moteur fume :</i> | <p>{ La fumée blanche indique un excès d'huile,
purger le carter ou graisser moins.
Si la fumée est noire, c'est qu'il y a excès
d'essence. Vérifier le carburateur.</p> |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

XIV. — Transmission du mouvement du moteur aux roues motrices d'une automobile

67. La liaison du moteur avec les roues motrices arrière de voiture se fait de diverses manières. Elle comprend toujours s organes suivants :

1^o L'**embrayage**, dispositif qui permet d'isoler momentanément le moteur des autres organes pour le laisser tourner à de, le mettre en marche, ou qui assure la solidarité du mout avec l'arbre du changement de vitesse ;

2^o Le **changement de vitesse**, dont le but est d'obtenir des tesses variables en laissant tourner le moteur à sa vitesse de gime pour laquelle son rendement est maximum.

Sa nécessité est moins absolue, maintenant que l'emploi de urburateurs automatiques assure un excellent rendement sur toutes les allures du moteur ;

3^o La **transmission flexible** par **chaîne** ou **cardan**, qui comunique le mouvement démultiplié du moteur aux roues rière, tout en permettant une légère déviation des axes des bres des divers organes ;

4^o Le **différentiel**, qui, comme nous l'avons déjà vu, permet ix roues de rouler sans glissement dans les virages ;

5^o L'**essieu arrière**, sur lequel sont calées les roues motrices.

68. Embrayage. — Qualités d'un embrayage. — Un bon appareil d'embrayage doit satisfaire aux conditions suivantes :

1^o Être progressif pour assurer un changement de vitesse ns chocs ;

2^o Être puissant pour que l'entraînement ait lieu sans glissement une fois l'embrayage produit ;

3^o Déterminer un débrayage complet et instantané.

On peut ramener les embrayages actuellement employés à

- a) L'embrayage à cônes ;
- b) L'embrayage métallique à disques.

Embrayage à cônes. — Sur le plateau de l'arbre du moteur est boulonné le volant V présentant une cuvette à bords coniques constituant le cône femelle, dans lequel vient se loger le cône mâle C en aluminium garni de cuir pour rendre l'entraînement progressif. Un ressort à boudin R maintient le cône mâle dans le cône femelle qui l'entraîne. Il y a alors embrayage. Le débrayage s'obtient en comprimant le ressort par l'intermédiaire d'une fourchette de débrayage D.

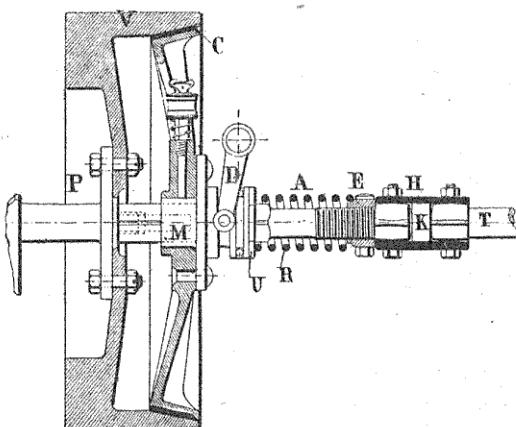


FIG. 53.

On peut augmenter quelque peu la progressivité en disposant sous le cuir des ressorts-pousoirs.

On reproche à ce mode d'embrayage de n'être pas assez progressif; on lui préfère maintenant le suivant.

Embrayage métallique. — La figure 54 représente un embrayage à disques utilisé sur les voitures de tourisme de Dietrich. Il fonctionne dans une cuvette étanche A fixée au volant et remplie d'huile. A l'intérieur se trouve un tambour cylindrique D boulonné sur une émbase de l'arbre d'embrayage C. La cuvette et le tambour concentriques portent des clavettes B

et E auxquelles sont accrochés des **disques** ou rondelles placés entre les deux cylindres. Les disques F en acier accrochés aux clavettes de la cuvette sont solidaires du volant, les disques G accrochés au tambour sont solidaires de l'arbre C commandé.

Ces disques étant alternés, si on les presse les uns contre les autres, chaque disque en acier tend à entraîner son voisin en bronze ; une fois serrés fortement, la solidarité des disques est complète et, par suite, celle de l'arbre d'embrayage et du volant.

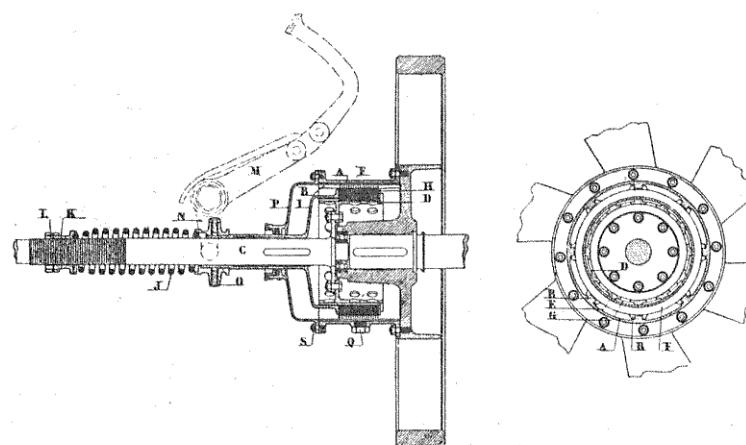


FIG. 54.

Les disques sont serrés entre la butée H fixée au tambour et le plateau I, qui reçoit la poussée du ressort d'embrayage J prenant appui sur son écrou de réglage K vissé sur l'arbre C. La pédale de débrayage M agit par l'intermédiaire de la coquille O sur le plateau de serrage des disques, qui, en se retirant, permet aux disques de s'écartier légèrement les uns des autres, grâce aux griffes spéciales R dont ils sont munis, et l'entraînement cesse.

Ce genre d'accouplement est à la fois progressif, ce qui assure une grande douceur au démarrage, et puissant.

69. Changements de vitesse et de marche. — Le changement de vitesses s'obtient ordinairement par *engrenages*. On peut ramener les mécanismes employés à deux types :

- a) Le type à **train baladeur**;
- b) Le type à **griffes**.

Changement de vitesse par train baladeur. — On le rencontre sur la majorité des voitures. La figure 55 représente un de ces changements avec prise directe en quatrième vitesse. L'attaque directe à la grande vitesse que l'on réalise sur toutes les voitures modernes, évitant l'emploi d'engrenage intermédiaire, assure un meilleur rendement.

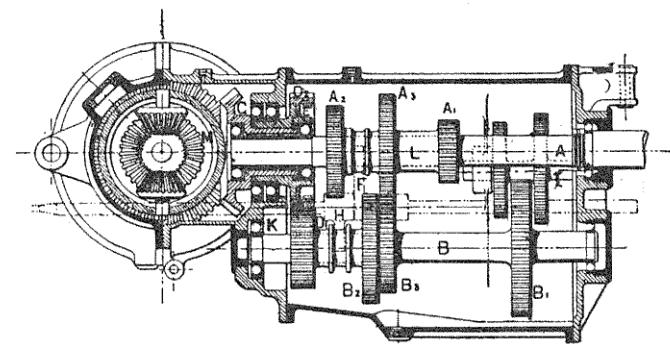


FIG. 55.

Sur la portée carrée de l'arbre principal A, relié par l'embrayage au moteur, peut coulisser un train baladeur L de trois engrenages A_1 , A_2 , A_3 , actionné par la fourchette F. Sur le même arbre est moulé fou l'engrenage conique C qui attaque le différentiel M. Cet engrenage est solidaire d'un double engrenage cylindrique à denture extérieure D_2 et intérieure E.

Un arbre secondaire ou intermédiaire B porte trois engrenages calés B_1 , B_2 , B_3 et un engrenage D_1 pourvu d'une douille ajustée à frottement doux sur une clavette de B et commandée par la fourchette H.

Pour utiliser les trois premières vitesses, déplacer le train

baladeur pour mettre en prise A_1 et B_4 , A_2 et B_2 ou A_3 et B_3 ; l'engrenage D_1 transmet la rotation réduite de B à l'engrenage D , par suite au pignon C et au différentiel.

Pour obtenir la quatrième vitesse, on pousse A_2 dans l'engrenage intérieur E solidaire du pignon C . On empêche l'arbre intermédiaire de tourner en actionnant la fourchette H , qui pousse la roue D_1 dans le logement K de la boîte.

Le train baladeur est un organe robuste dont la manœuvre est facile. On atténue le choc des dents en pratiquant à l'extrémité de celles-ci des arrondis ou *entrées* à l'aide de machines spéciales.

Changement de vitesse à griffes. — Il est simple comme le précédent. Sur l'arbre principal A sont clavetées quatre roues $1, 2, 3, 4$, qui sont constamment en prise avec quatre engrenages $4', 2', 3', 4'$, montés fous sur l'arbre intermédiaire B commandant le différentiel par le pignon conique C .

Ces engrenages sont rendus solidaires de l'arbre B séparément au moyen de deux manchons à griffes M, M' ajustés à frottement doux sur des clavettes de B pour glisser dessus et dont les griffes G pénètrent dans les encoches E des roues.

La vitesse dépend des couples d'engrenages embrayés. Sur la figure, le couple $1, 1'$ donne la plus petite vitesse (marche arrière) ; le couple $2, 2'$, la deuxième vitesse ; le couple $3, 3'$, la troisième vitesse ; le couple $4, 4'$, la plus grande vitesse.

Les engrenages étant toujours en prise, l'inconvénient du système précédent disparaît ; mais les roues tournant continuellement sur leurs douilles les usent rapidement.

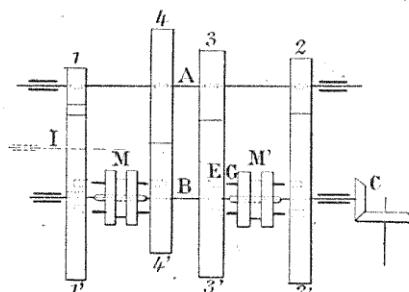


FIG. 56.

Généralement, on combine les deux systèmes par train baladeur et embrayage à griffes.

L'attaque de la quatrième vitesse se fait directement par griffes. La commande des engrenages se fait aussi souvent par came remplaçant les fourchettes. Des systèmes de verrouillages divers empêchent les déplacements gênants des leviers de commande de se produire.

Pour éviter les chocs, il faut toujours débrayer avant de changer de vitesse.

Changement de marche. — Le marche arrière est produite soit :

1^o Par l'interposition d'un arbre intermédiaire entre l'arbre principal A et l'arbre secondaire B, portant un engrenage I (*fig. 56*) ou un train de deux engrenages (*fig. 55*) ;

2^o Par une double roue d'angle montée sur le différentiel : on amène l'une ou l'autre des roues en prise avec le pignon conique de l'arbre secondaire, ce qui fait tourner la boîte du différentiel et, par suite, les roues arrière dans un sens ou dans l'autre.

A signaler le *transformateur de vitesse à galet et plateau de friction* des voitures S. C. A. R. 1910.

Il comprend essentiellement :

1^o Un galet moteur dont l'arbre à quadruple clavette est commandé directement par le moteur, sans interposition d'embrayage, par l'intermédiaire d'un joint à la Cardan.

2^o Un plateau récepteur en acier, placé horizontalement, au-dessus des longerons du châssis. Il commande un pignon d'angle à axe vertical qui actionne deux couronnes d'angle, placées de part et d'autre de son axe et tournant de par ce fait en sens inverse l'une de l'autre. « Ces deux couronnes sont montées folles sur l'arbre du pignon de chaîne, mais peuvent cependant en être rendues solidaires alternativement, par l'intermédiaires d'une double griffe, clavetée sur l'arbre et coulissant sur ce dernier. » La manœuvre de cette griffe donne à volonté la marche A' ou R'. Les vitesses peuvent varier à l'infini entre les deux vitesses limites données par les deux positions extrêmes du galet par rapport au centre du plateau (voir 1^{er} volume).

70. Transmission flexible. — Pour permettre de légères déformations du châssis, on relie par une transmission flexible l'arbre du changement de vitesse aux roues arrière.

L'emploi de courroies est abandonné.

On utilise maintenant :

1^o La transmission par chaînes pour les voitures puissantes (de course ou camions) ;

2^o La transmission par cardan pour les voitures de ville ou de tourisme.

Transmission par chaînes. — L'arbre secondaire du changement de vitesses attaque par pignon conique le différentiel monté sur les deux tronçons de l'arbre transverse. Aux extrémités de celui-ci sont calés les pignons de chaîne, sur lesquels passent les chaînes transmettant le mouvement aux couronnes dentées des roues arrière.

On conçoit que la flexibilité de la transmission est bien réalisée, mais les chaînes ne devront être ni trop tendues (résistance inutile à vaincre), ni trop lâches (abandon de la roue), exigeant de fréquents réglages.

La figure 57 représente un montage de pignon de chaîne. Celui-ci, en acier ajouré A, est boulonné sur le moyeu B, ce qui permet le changement de denture, en montagne par exemple. Le roulement à billes du palier F est reporté dans l'axe du pignon, axe de traction de la chaîne. Le tendeur H avec sa douille de réglage I est attaché au collier J.

Transmission par cardan. — L'articulation de Cardan permet de réunir deux arbres dont les axes concourants font un angle $\alpha < 45^\circ$. En principe, ce joint est formé (fig. 58) d'un croisillon à deux branches perpendiculaires, portant à leurs extrémités des tourillons à embases embrassés par deux fourches calées sur les deux arbres ou portions d'arbre à con-

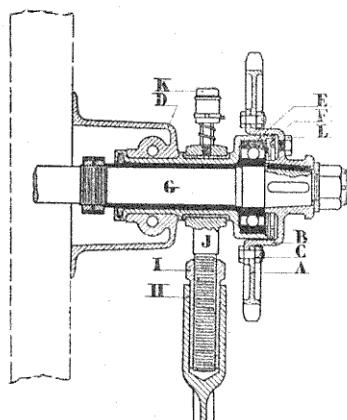


Fig. 57.

nexer. Quel que soit l'angle variable α , un tour de l'arbre moteur A détermine un tour de l'arbre B.

Pendant cette révolution, la vitesse de B n'est pas tout à fait la même que celle de A :

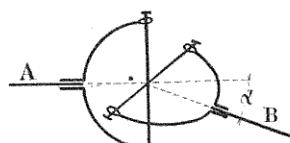


FIG. 58.

$$V_B = V_A \cos \alpha;$$

mais, α étant très petit dans le cas des voitures automobiles, $\cos \alpha$ est voisin de 1 et V_A de V_B .

L'arbre secondaire du changement de vitesse est relié à celui du tronçon portant le pignon d'attaque du différentiel par un joint à la Cardan.

Celui-ci peut être réalisé pratiquement par deux boulons faisant fonction de branches à tourillons du croisillon.

La figure 59 représente le joint à la Cardan des voitures E. N. V. combiné pour que les axes des fourches ne travaillent pas dans les conditions défectueuses de la torsion.

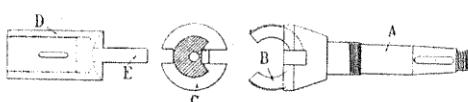


FIG. 59.

Les fourchettes d' entraînement B et E, terminant les arbres moteur A et commandé D, sont semi-circulaires à section méplate. Disposées dans des plans perpendiculaires pour le montage, elles s'engagent dans des rainures périphériques d'une noix centrale C sphérique. Le cardan monté ayant la forme extérieure d'une sphère est enfermé dans un carter rempli d'huile assurant le graissage.

Comme les chaînes, le cardan permet la déformation de l'ensemble des mécanismes.

On désigne sous le nom de **pont arrière** l'ensemble du différentiel, de l'essieu des roues et des freins montés dessus. Il remplace le **transverse** des voitures à chaînes. Il est formé

d'une boîte en aluminium centrale reliée à deux cônes tubulaires en acier forgé de faible épaisseur, mais d'une grande rigidité.

71. Différentiel (*fig. 60*). — (Déjà étudié en cinématique, tome II, n° 29.)

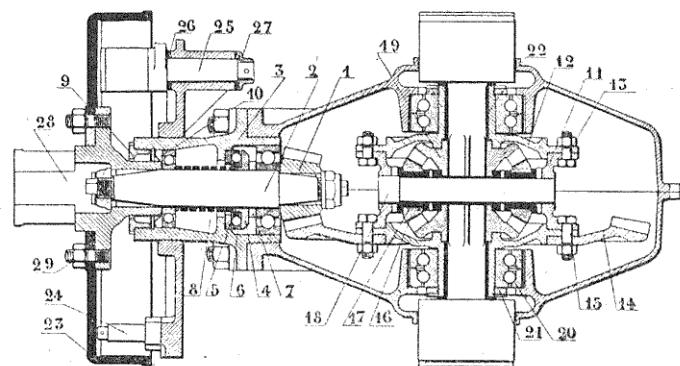


FIG. 60. — Différentiel de Dion-Bouton et son frein.

1. Pignon du différentiel ; — 2. Arbre du pignon ; — 3. Cage des roulements à billes ; — 4. Cuvette mobile du roulement de butée ; — 5. Cuvette fixe ; — 6. Rondelle entretoise des billes ; — 7. Rondelle de réglage ; — 8. Ressort de blocage des roulements ; — 9. Bouchon de la cage des roulements à billes ; — 10. Retour d'huile ; — 11. Boîte du différentiel ; — 12. Couvercle de la boîte ; — 13. Boulon de serrage du couvercle ; — 14. Couronne du différentiel ; — 15. Boulon de fixation de la couronne ; — 16. Pignon satellite ; — 17. Douille du pignon satellite ; — 18. Axe des satellites ; — 19. Pignon d'entrainement des roues ; — 20. Roulement à billes ; — 21. Pièce de blocage du roulement ; — 22. Douille du couvercle de la boîte du différentiel ; — 23. Poussière de frein ; — 24. Axe d'articulation des sabots ; — 25. Axe de commande ; — 26. Rondelle de butée ; — 27. Bagne d'arrêt de l'axe ; — 28. Tête de cardan de l'accouplement ; — 29. Boulon de fixation de la poussière.

72. Essieux. — Il se font en fer à grain fin d'excellente qualité ou en acier; un essieu est terminé par des fusées X sur lesquelles sont calés les moyeux G serrés par des écrous K. Sur le disque H du moyeu, on visse un chapeau en bronze L qui est rempli de graisse consistante (*fig. 61*).

73. Freins. — L'article 6 de la réglementation de la circulation automobile en France est ainsi conçu :

« Le véhicule devra être muni de deux systèmes de frein-

nages distincts, suffisamment efficaces, dont chacun sera capable de supprimer automatiquement l'action motrice du moteur ou de la maîtriser.

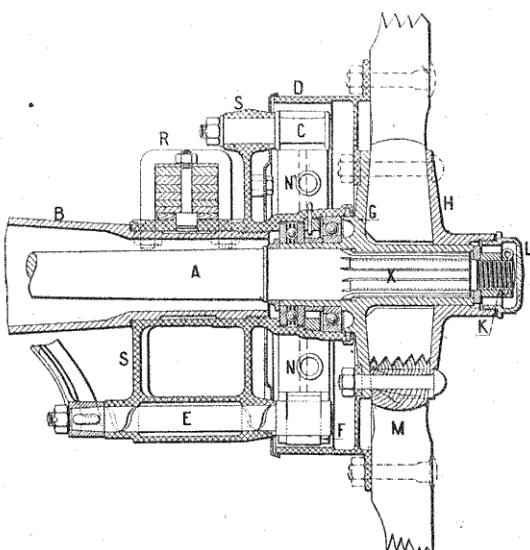


FIG. 61.

« L'un au moins de ces systèmes agira directement sur les roues ou sur des couronnes immédiatement solidaires de celles-ci et sera capable de caler instantanément les roues.

« L'un de ces systèmes ou un dispositif spécial permettra d'arrêter toute dérive en arrière. »

Pour avoir une sécurité absolue dans le freinage, il faut que les organes employés à cet effet soient robustes et puissants. Deux freins sont suffisants, l'un exigé sur les roues arrière (fig. 61), utilisé plus particulièrement pour les descentes, l'autre disposé généralement sur le différentiel pour les arrêts brusques. Avant de freiner, il est nécessaire de débrayer, sans quoi l'effort du frein serait insuffisant. Ces freins sont à pédale ou à main, ils peuvent être à simple ou double action, intérieurs ou extérieurs.

La figure 62 représente un frein à mâchoires intérieures, à double action à came (Panhard et Levas-sor), agissant pendant la marche avant et arrière.

Les deux mâchoires en fonte F sont reliées par l'axe C. Une came E, dont l'axe est monté sur un levier U, actionné par une corde de frein T, peut écarter les mâchoires en vainquant la résistance des ressorts de rappel R et, par suite, peut les appliquer sur le tambour : couronne de frein en acier boulonnée sur la roue arrière ou la roue de chaîne.

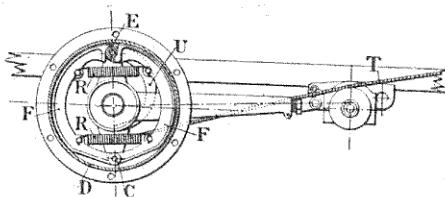


FIG. 62.

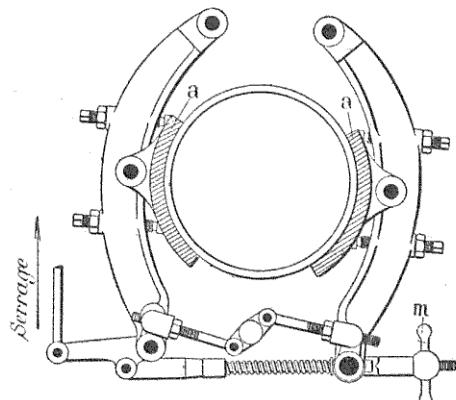


FIG. 63.

a, a, sabots ; m, manette de réglage.

« Le frein sur différentiel (fig. 63) est combiné avec l'admission du moteur : quand on agit sur la pédale, elle ferme complètement l'admission avant que le frein n'entre en jeu. »

**XV. — Organes de l'automobile assurant sa direction,
son confort et supportant les mécanismes**

Il nous reste à examiner, pour connaître tous les organes d'une automobile :

- 1° La **direction**, dispositif permettant d'assurer une marche en ligne droite ou un virage;
- 2° Les **roues pneumatiques** et la **suspension à ressort**, amortissant les chocs provoqués par les aspérités de la route;
- 3° Le **châssis**, sur lequel on fixe les divers mécanismes et la carrosserie.

74. Direction. — **Essieu avant directeur.** — On entend par *direction* tous les organes permettant de changer la di-

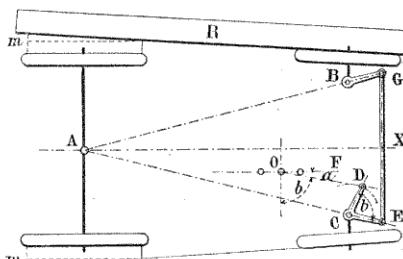


Fig. 64.

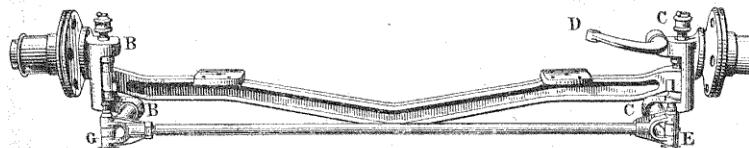


Fig. 64 bis.

rection de la voiture. Pour cela, il faut agir sur les roues de devant, qui sont les roues directrices. Celles-ci sont montées sur

les moyeux à roulement à billes de l'essieu (*fig. 64*), dont les deux manivelles BG et CE sont reliées par la barre d'attelage EG. Sur l'une des fusées verticales, celle de droite C ordinairement (on braque alors à droite), la manivelle CE est double, porte un second bras CD articulé avec la bielle OD commandée par la direction proprement dite.

Secteur et vis sans fin. — Cette commande se fait ordinairement par **secteur hélicoïdal et vis sans fin**. La vis en acier trempé est montée sur le tube de direction actionné par le volant; elle est maintenue, sur la figure 65 représentant l'ensemble de la direction des voitures de Dietrich, par des butées à billes N, réglables souvent par une simple vis de butée vissée dans le carter. En tournant, elle agit sur le secteur denté F qui communique son mouvement au bras H monté sur le même arbre G. Le doigt à rotule H commande la barre de direction.

Vis et écrou. — La commande peut se faire par **vis et écrou** pour les fortes voitures. La figure 66 en représente un type construit par la maison Malicet et Blin.

La vis de commande A est filetée extérieurement et intérieurement; en tournant, elle fait descendre ou monter deux écrous B et C dont les extrémités inférieures agissent sur les galets E montés sur une pièce mobile D, support du levier de manœuvre. La calotte taraudée G permet le réglage, les boîtiers J, J' sont munis d'oreilles K, K' pour les relier au châssis.

D'autres fois l'écrou fileté agit sur une crémaillère extérieure qui commande un pignon portant le bras articulé à la barre de direction.

Tous ces systèmes de direction sont **irréversibles**, c'est-à-dire que le volant ne reçoit aucune action de la part des obstacles rencontrés par les roues directrices.

Un système d'articulation spéciale à rotule avec **amortisseur** (*fig. 67*) aux deux extrémités de la bielle évite également cette transmission des chocs.

75. Roues pneumatiques. — Les roues en bois fixées

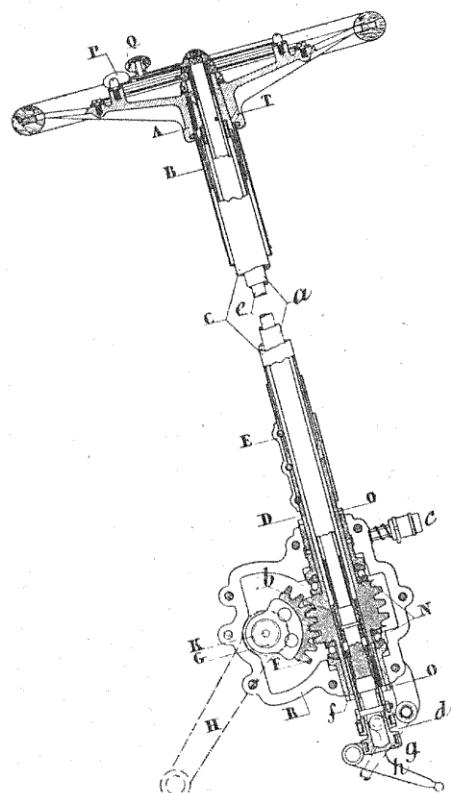


FIG. 65. — Ensemble de la direction.

- | | |
|------------------------------------------|----------------------------------------|
| A, volant de direction ; | a, tube ; |
| B, tube extérieur fixe ; | b, vis et écrou ; |
| C, tube de direction ; | c, manchon mobile à gorge ; |
| D, arbre avec vis sans fin ; | d, levier de commande de la variation |
| E, fourrure rendant solidaire le tube de | Q, manette de commande de la variation |
| direction et l'arbre à vis sans fin ; | d'allumage ; |
| F, secteur denté ; | e, tube de commande de la variation |
| G, arbre portant le secteur ; | d'allumage ; |
| H, bras à rotule fixé sur l'arbre G ; | f, vis et écrou ; |
| K, conduit de graissage ; | g, manchon mobile à gorge ; |
| N, butées à billes ; | h, levier de commande de la variation |
| O, écrous de réglage des butées ; | d'allumage ; |
| P, manette de commande du carburateur. | R, carter de la direction ; |



FIG. 67.

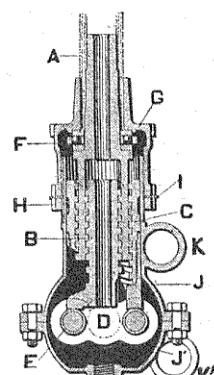


FIG. 66.

sur les essieux ont leur jante en bois recouverte d'une jante en acier qui reçoit un pneu. L'emploi du pneumatique est indispensable. Sans lui les trépidations de la route fatiguerait rapidement les mécanismes, et le confort de ce mode de locomotion ne serait pas possible.

Le pneumatique est un tube de caoutchouc rempli d'air comprimé de 2 à 6^{kg} de pression; son diamètre varie de 50 à 150^{mm}. On conçoit qu'un tel matelas d'air interposé entre la jante de la roue et le sol suspende le véhicule au-dessus des obstacles en enveloppant ceux-ci. « Le pneumatique boit l'obstacle », qui ne réagit pas sur la voiture.

Son élasticité merveilleuse supprime les vibrations. Il présente encore un autre avantage. En se mouvant sur la route, il a une adhérence énorme qui diminue les glissements. On peut encore augmenter cette adhérence en adoptant des bandages dits « antidérapants », tels que pneus en cuir, pneus ferrés, anneau à chaînettes, montés sur un pneumatique ordinaire (Parsons); on réduit ainsi les chances de dérapage au minimum.

Ce pneumatique a aussi ses inconvénients.

D'abord il coûte assez cher et s'use assez rapidement, ensuite il est sujet à des éclatements et des crevaisons qui peuvent occasionner des chutes dangereuses, surtout dans les virages. Ajoutons cependant que de tels accidents sont rares et pourraient être évités en prenant quelques précautions.

La figure 68 représente la coupe de la valve d'un pneumatique Michelin modèle voiture. La chambre à air E est constituée par un boudin K en toile caoutchoutée mince trouée au point d'attache de la valve. La chambre est protégée par l'enveloppe Q qui l'entoure et dont les bourrelets U s'accrochent sous la jante métallique Y.

L'enveloppe est recouverte vers le côté extérieur par un croissant de protection ou une semelle antidérapante.

La pression de l'air de la chambre E sur l'obus l'applique sur son siège, obturant ainsi parfaitement le conduit V et rendant impossible tout dégonflage. Pour gonfler, on dévisse le capuchon S et le bouchon D, on adapte la pompe, qui, refou-

lant l'air dans le conduit V, soulève l'obus, véritable clapet de refoulement qui revient sur son siège pendant l'aspiration de la pompe, sous la pression de l'air comprimé de la chambre à air.

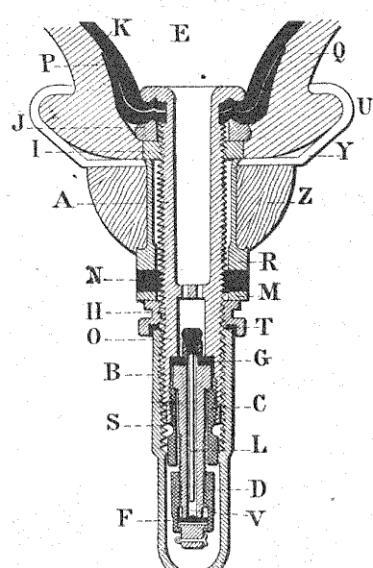


FIG. 68.

E, chambre à air ; — K, boudin caoutchouc ; — Q, enveloppe ; — A, corps de valve ; — B, pièce centrale ; — C, écrou long ; — D, chapeau ou bouchon ; — F, disque caoutchouc ; — G, rondelle caoutchouc ; — H, écrou moleté ; — I, écrou plat ; — J, plaquette métallique ; — L, aiguille de l'obus ; — M, rondelle métallique ; — N, rondelle caoutchouc ; — O, obus ou clapet ; — P, plaquette caoutchouc ; — R, rivet-gaine ; — S, capuchon ; — T, bagne en cuir ; — U, bourrelet de l'enveloppe ; — Y, jante acier ; — Z, jante bois ; — V, conduit.

amovible. Les pneus peuvent être jumelés, la roue est dite double.

Pour réduire l'usure, Michelin recommande de conserver le pneu toujours suffisamment gonflé, de ne point faire usage de freins à patins flottant directement sur le caoutchouc, de ne pas bloquer brusquement les roues arrière, qui, en patinant, abîment le pneu.

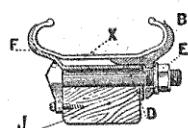


FIG. 69.

Les pneus amovibles se démontent et se remontent rapidement, ils sont accrochés à la jante métallique X, qui vient se loger entre le rebord d'une frette circulaire fixée sur la jante en bois J de la roue et les crochets des agrafes B boulonnées sur la même jante.

Le dévissage des écrous E et une pression exercée sur un levier introduit entre la frette et la jante métallique suffit pour sortir les agrafes et la jante.

76. Ressorts. — La suspension des voitures s'effectue au moyen de ressorts constitués par une longue lame dite « lame maîtresse », renforcée par plusieurs lames plus petites et maintenues par un collier.

Le plus souvent, les ressorts avant sont articulés par un boulon à l'extrémité des longerons et par une menotte mobile du châssis, à l'opposé.

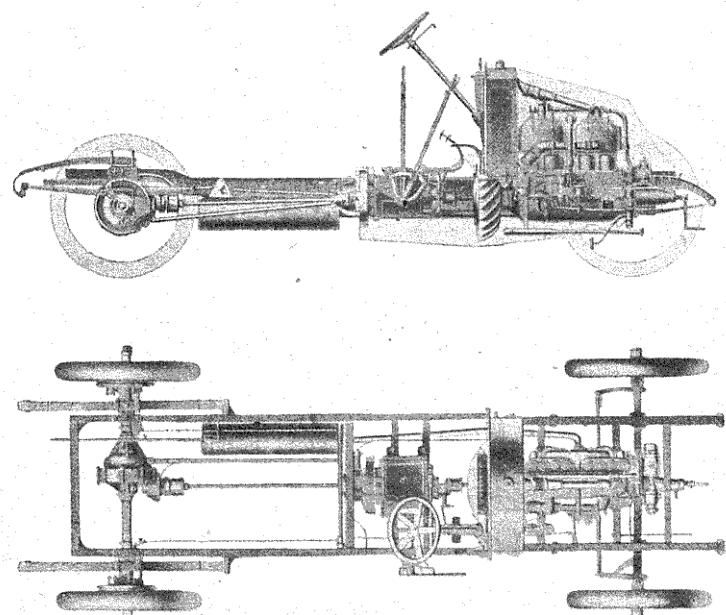


FIG. 70.

Les ressorts arrière sont composés d'un grand ressort avec points d'attache à l'avant et une menotte mobile à l'arrière s'articulant avec un autre ressort formant crosse fixée sur un patin du châssis, comme on le voit sur la figure 70 représentant un châssis de voiture Renault.

Pour amortir les oscillations du ressort provoquées par un cahot, on dispose sur le ressort un frein spécial basé sur le

frottement (Truffault) ou un frein à liquide (Houdaille); le châssis et les ressorts reviennent *progressivement* à leur position normale, la douceur de la suspension est ainsi grandement améliorée.

77. Suspension de la voiturette Rip. — Cette suspension tout à fait différente des autres est à signaler. Chaque roue est montée sur un moyeu à billes M tournant sur une fusée F solidaire d'un coulisseau C dont les douilles reposent sur deux tiges de guidage T. Celles-ci sont mobiles entre des galets à gorge G et assurent le déplacement vertical du moyeu. Ces tiges traversent le cadre constitué par deux traverses A, A' entretoisées par les tubes E. Les deux cadres avant (fig. 71) sont montés sur une chape B en acier forgé leur permettant de pivoter autour de leur axe vertical pour rendre possible la direction de la voiturette.

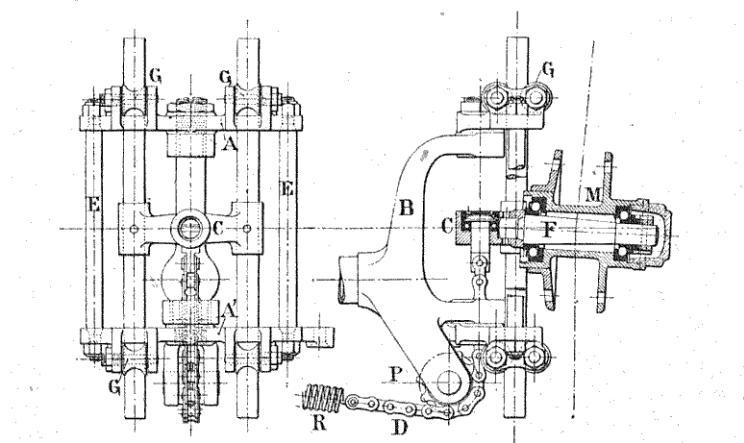


FIG. 71.

Les cadres arrière font partie du châssis, auquel ils sont solidement assemblés.

Sous chaque coulisseau est fixée une chaîne qui, passant sur un pignon de renvoi P, vient s'attacher à un ressort à

boudin R, dont l'autre extrémité est reliée au milieu de la largeur du châssis.

Dans la roue arrière, le coulisseau est monté à billes sur la fusée recevant son mouvement du cardan par une roue motrice fixée sur lui au moyen d'un cône et d'une clavette.

Ce dispositif présente les avantages suivants :

1^o Les essieux étant supprimés, les roues sont indépendantes, l'une peut monter ou descendre sans intéresser l'autre, le balancement est supprimé;

2^o Les ressorts à lames disparaissant, leur hauteur gagnée permet d'abaisser le centre de gravité de la voiture et d'augmenter la stabilité, ce qui la rend inversable dans les virages;

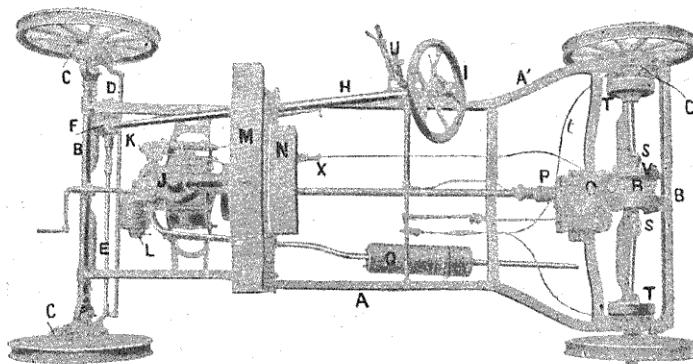


Fig. 72.

A, A', longerons en tôle emboutie; — B, tube traversant avant; — B', traversant tôle emboutie; — C, cadres de suspension; — D, bielle d'accouplement; — E, bielle de commande; — F, boîte de direction; — H, tube; — I, volant de direction; — J, moteur; — K, carburateur; — L, magnéto; — M, radiateur; — N, réservoir d'essence; — O, silencieux; — P, cardan; — Q, boîte de vitesses; — R, différentiel; — S, cardans transversaux; — T, freins commandés par le flexible *t* et le levier U; — V, frein commandé par la pédale X.

3^o Tous les organes étant suspendus, le poids de ceux-ci et en particulier du pont arrière ne provoque pas l'usure rapide des pneus;

4^o La direction est assurée par un pignon et une crémaillère guidée dans toute sa longueur, commandant les cadres avant solidaires du châssis; on supprime ainsi les rotules ou

ressorts amortisseurs, la direction gagne en solidité et ne peut prendre de jeu.

La figure 72 représente le plan du châssis.

78. Nature des châssis. — Le châssis proprement dit, sur lequel sont fixés les divers organes précédemment étudiés de la voiture, ne se fait plus en tube d'acier étiré comme autrefois. Il est constitué ordinairement par l'assemblage de longerons et de traverses en tôle d'acier emboutie en forme d'U à la presse hydraulique, tels les châssis Unic de la figure 73.

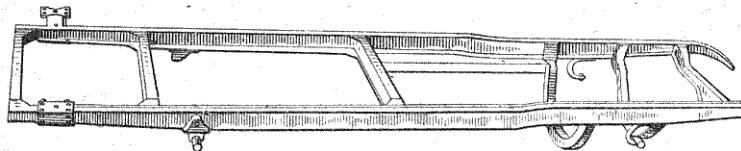


FIG. 73.

Ils sont rétrécis à l'avant d'autant plus que l'on veut permettre à la voiture de tourner dans un plus faible rayon, comme les automobiles de ville à grand braquage. Ils se relèvent à l'arrière pour laisser passage au pont arrière et permettre le jeu des ressorts de suspension.

La robustesse, la rigidité de ces châssis, leur ont valu la faveur des constructeurs.

On emploie encore des châssis entièrement faits en bois armés d'un tube d'acier qui assure la rigidité (châssis ENV); on amortit ainsi les trépidations.

Pour les gros camions, le châssis se construit en fer à U assemblés à leur extrémité par des cornières et des goussets.

79. Emplacement des organes sur un châssis. — La disposition des différents organes de la voiture sur le châssis est variable.

Dans la majorité des voitures actuelles, le moteur vertical

est placé à l'avant avec le radiateur, la boîte de vitesse au milieu, et le mouvement est transmis aux roues par le différentiel, l'arbre transverse et les chaînes, ou par cardan et le pont arrière. L'ensemble de la voiture sans la carrosserie forme le châssis.

Le moteur est fixé soit aux longerons du châssis par de forts goussets métalliques, soit à un berceau en tôle emboutie entretissant le châssis à l'avant.

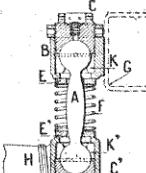
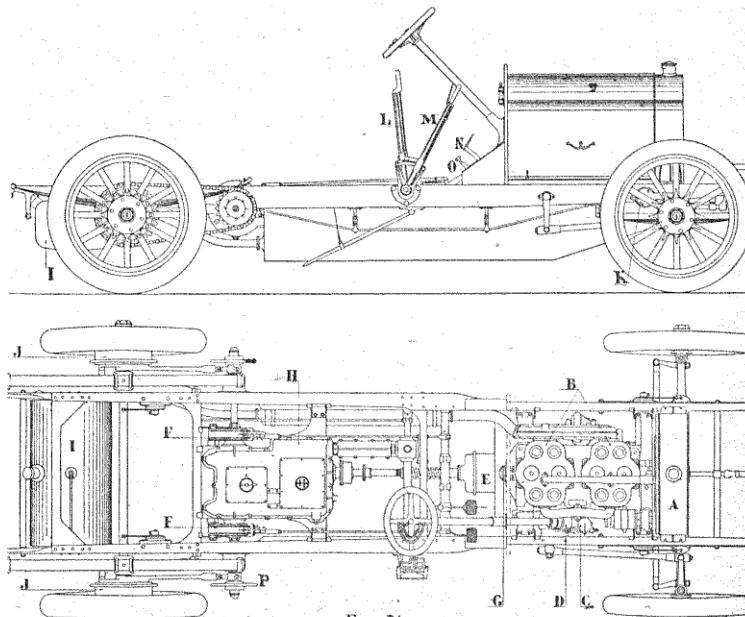


FIG. 73 bis.



La boîte des changements de vitesse et de marche est fixée sur les traverses par l'intermédiaire d'un faux châssis.

Le pont arrière doit pouvoir prendre tous les déplacements nécessités par les positions que peuvent occuper les roues par suite des fléchissements inégaux des ressorts sous l'action des obstacles de la route. On peut obtenir cette liberté d'action du pont arrière au moyen de deux bielles de suspension A à rotule reliant la traverse G du châssis à la fourche H du pont arrière, comme l'indique la figure 73 bis.

Nous donnons à titre d'exemple le châssis d'une voiture à chaîne de Dietrich (fig. 74) et celui d'une voiture à cardan Renault (fig. 70).

XVI. — Motocyclette

80. La motocyclette est une bicyclette à moteur dont l'allure peut être par suite plus rapide que celle de la bicyclette ordinaire. Sa construction est identique, mais les divers éléments sont renforcés; on y ajoute le moteur et ses accessoires, analogues à ceux d'une voiture.

Nous allons en décrire une, avec quelques détails : la motocyclette légère 1910 Peugeot (fig. 75).

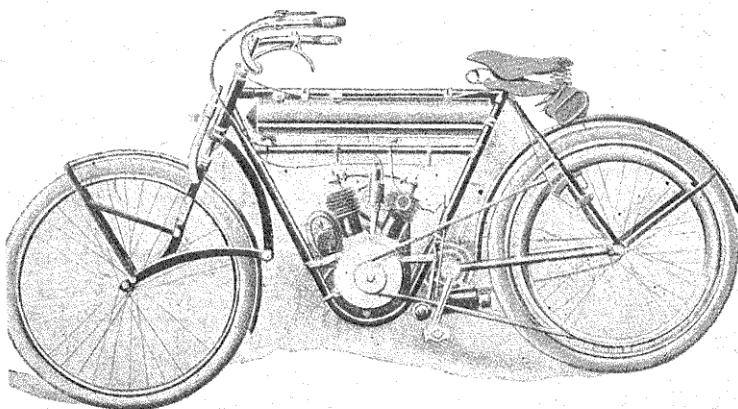


Fig. 75.

Le cadre est constitué par des tubes d'acier étiré raccordés entre eux et disposés de façon à assurer la parfaite rigidité de l'ensemble.

La solidité du cadre doit être à toute épreuve, car la rupture d'une fourche

ou d'un tube entraînerait une chute mortelle, vu la grande vitesse de la machine. Le tube de corps est cintré d'une seule pièce pour en augmenter la rigidité, il supporte le moteur.

La fourche avant est élastique pour amortir les cahots de la route : le pivot de direction est surmonté de quatre ressorts à houdin concentriques logés dans le fond du tube de direction faisant partie du cadre.

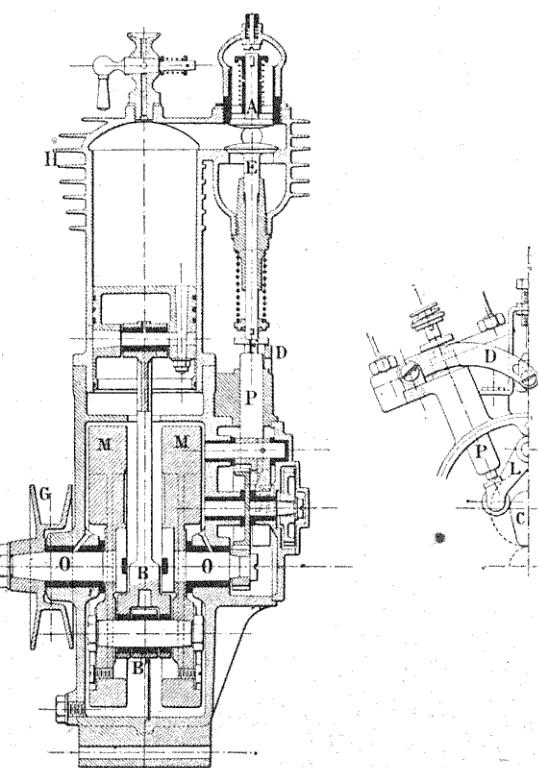


FIG. 76-77.

Le moteur (fig. 76) est à deux cylindres de 55^{mm} d'alésage et 70^{mm} de course, faisant entre eux un angle de 45°. Il développe une puissance de 2HP 1/2. Il est placé verticalement à la partie inférieure du cadre pour abaisser le centre de gravité de la machine et augmenter par suite sa stabilité. Les deux bielles B, B' sont articulées au même tourillon T des deux plateaux-manières M jouant également le rôle de volant ; les phases du cycle à quatre

temps pour chaque cylindre se produisent donc à 3/4 de tour d'intervalle, ce qui assure un fonctionnement plus régulier et plus doux qu'avec un moteur monocylindrique.

Les soupapes d'admission A sont automatiques, celles d'échappement E sont commandées par la même came C agissant sur des leviers L actionnant les pousoirs P. Ceux-ci présentent une embase F sur laquelle peut agir un levier de décompression D, qui, maintenant la soupape d'échappement levée évite la compression des gaz s'opposant à la mise en marche du moteur. Les ailettes des cylindres H assument leur refroidissement.

La magnéto fixée sur le moteur est commandée par plusieurs engrenages cylindriques mis en mouvement par l'arbre-vilebrequin O.

L'avance à l'allumage est inutile, par suite du réglage automatique du carburateur type Longuemarre fixé sur le moteur entre les deux cylindres. Le réglage de la marche est obtenu par une manette commandant le carburateur.

Le réservoir en laiton nickelé, maintenu au cadre par trois brides, est divisé en deux compartiments : celui d'avant contient environ 1 litre d'huile, celui d'arrière 4 litres d'essence.

Sur la poulie à gorge G, calée à l'extrémité de l'arbre moteur, se place une courroie à section trapézoïdale qui transmet le mouvement à la jante-poulie arrière; un galet tendeur spécial assure l'entrainement.

Deux freins énergiques actionnés par des leviers fixés au guidon et agissant sur la jante-poulie permettent l'arrêt immédiat de la machine. Le levier de frein de gauche porte la manette du carburateur; celui de droite porte le levier de tête-soupape de décompression.

Dans beaucoup de motocyclettes, on rencontre encore l'allumage par piles ou accumulateurs, un moteur monocylindrique et des fourches ayant non élastiques.

AÉRONAUTIQUE

81. Généralités. — C'est la science de la navigation aérienne.

Comme la locomotion aquatique, la navigation aérienne comporte la solution d'un double problème :

1^o Il faut maintenir l'appareil en équilibre au sein de l'atmosphère, c'est-à-dire réaliser sa **sustentation**;

2^o Il faut pouvoir le déplacer et l'amener partout où l'on veut, c'est-à-dire être maître de sa **direction**.

Pour étudier avec fruit les modes de sustentation et de direction, il est nécessaire de posséder quelques notions sur la **résistance de l'air**, qui intervient dans la plupart des théories. C'est pourquoi nous examinerons successivement dans notre étude succincte de l'aéronautique :

- I. *La résistance de l'air*;
- II. *Les modes de sustentation*;
- III. *La direction des navires aériens*;
- IV. *Le groupe moto-propulseur : moteur et hélice*, fournissant la puissance nécessaire à la direction des ballons, à la sustentation et à la propulsion des aéroplanes;
- V. *Quelques types de dirigeables et d'aéroplanes*.

XVII. — Résistance de l'air

L'étude de la résistance de l'air est d'une importance capitale en aéronautique. L'air joue, en effet, un triple rôle en aviation :

- a) Il doit être considéré comme un **point d'appui** pour les propulseurs tels que les hélices qui ne se déplacent que grâce à la résistance de l'air;
- b) Il sert de **support** aux surfaces sustentatrices pour maintenir le navire en l'air;
- c) C'est un **obstacle** qui s'oppose à la progression du navire aérien; pour le réduire le plus possible, on recherche les formes les mieux appropriées aux carènes aériennes.

82. Déplacement d'un plan. — 1^o Normalement à sa surface. — Dans ce cas, la résistance de l'air qui s'oppose au déplacement du plan est :

- 1^o Normale au plan;
- 2^o Appliquée au centre de figure;
- 3^o Proportionnelle à sa surface S;
- 4^o Proportionnelle au carré de sa vitesse V de translation.

Cette résistance est alors donnée par la formule

$$R = KSV^2.$$

Le coefficient K représente la résistance opposée au déplacement d'un plan de 1m^2 animé d'une vitesse de 1m ; les expériences d'Eiffel ont donné pour K des valeurs variant de 0,074 à 0,085 pour une pression normale de 760mm et une température de 15° , K variant, en effet, comme la densité de l'air. Dans les calculs, nous prendrons $K = 0,080$.

2^o Obliquement à sa surface. — Soit le plan S se déplaçant dans le sens de la flèche f en faisant un angle i avec la direction du mouvement. Cet angle est nommé angle d'incidence ou angle d'attaque.

Le plan éprouve de la part de l'air choqué une réaction ou résistance au mouvement qui est :

- 1^o Normale au plan;
- 2^o Appliquée au centre de pression différent du centre de figure;
- 3^o Proportionnelle au carré de la vitesse et à la densité du fluide;
- 4^o Dépendant de l'angle d'incidence;

5° Dépendant de la forme et de l'étendue de la surface, de telle sorte que $R = K'SV^2$, K' variant dans des limites plus étendues que K .

Le centre de pression ou de résistance C se rapproche d'autant plus du bord le plus avancé que l'angle d'incidence décroît, jusqu'à se trouver à $\frac{1}{3}$ de la longueur du plan quand $i = 0$.

Jessel donne pour le déterminer sa distance d au bord antérieur par la formule :

$$d = (0,2 + 0,3 \sin i) L,$$

que l'on peut construire graphiquement comme sur la figure : porter $AE = 0,3 AB$ sur une perpendiculaire à la direction du mouvement, décrire sur AE comme diamètre une circonference qui coupe AB en D , $AD = AE \sin AED = 0,3AB \sin i$, ajouter $DC = 0,2AB$.

L'influence de l'angle d'attaque n'est pas proportionnelle au carré du sinus de cet angle, comme le croyait Newton ; elle se rapprocherait plutôt de la formule empirique du colonel Duchemin :

$$k_i = \frac{2 \sin i}{1 + \sin^2 i}.$$

Comme en aviation, on n'emploie guère que de petits angles, i est voisin de 6° pour lequel $\sin i = 0,01$ et $k_i = 2 \sin i$ environ, alors :

$$R = 2KSV^2 \sin i.$$

La résistance n'est pas seulement proportionnelle à la surface, elle dépend encore du rapport de sa longueur à sa largeur. Prenons, par exemple, un plan rectangulaire de $1^m \times 5^m$. Dans son déplacement longitudinal par son petit côté (fig. 79), les filets d'air déplacés indiqués par les flèches sont rejetés

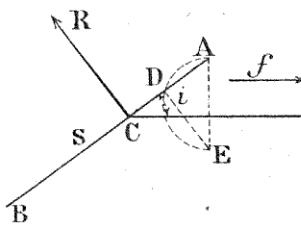


Fig. 78.

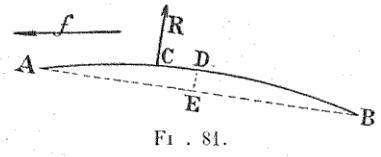
avant d'avoir réagi avec toute leur force sur le plan, tandis que dans le déplacement transversal par le bord le plus large (fig. 80), la plupart des filets ne peuvent s'échapper, ce qui leur permet de présenter au plan toute leur résistance.

On voit donc que la résistance augmente avec l'envergure.

Pour des plans très allongés dans le sens perpendiculaire au mouvement, M. Soreau admet la résistance 2,5 fois plus forte que pour le plan carré. Avec un faible angle d'attaque, nous aurons :

$$R = 5KSV^2 \sin i.$$

83. Surfaces courbes inclinées. — Les ailes planes ne sont pas employées en aviation, elles sont légèrement concaves pour augmenter encore la résistance de l'air. Celle-ci varie avec l'angle d'incidence, la forme du profil et du bord d'attaque.



La meilleure courbure serait celle dont la flèche est sensiblement le $\frac{1}{12}$ de la corde sous-tendue, $DE = \frac{AB}{12}$. Le centre de pression C est à peu près au tiers de AB à partir du bord antérieur A pour des ailes d'aéroplanes.

84. Carène. — On nomme ainsi le ballon proprement dit gonflé de gaz ou le corps de l'aéroplane. Quand un corps se déplace, la résistance qu'il éprouve de la part de l'air est proportionnelle à la section droite du cylindre d'air balayé. Cette section dont le diamètre est maximum, est encore ce qu'on appelle la **maitresse section** ou le **maître couple**. De telle sorte que, pour une carène de révolution dont la surface du maître couple

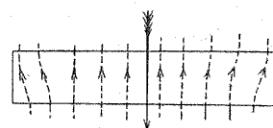


FIG. 80.

est $S = \frac{\pi D^2}{4}$ et la vitesse d'avancement V, la résistance opposée par l'air au déplacement serait :

$$R = KSV^2.$$

Il n'en est pas ainsi, à cause de la forme allongée de la carène ; le corps fusiforme a une résistance plus faible que celle du plan mince. Il faut multiplier K par un coefficient de réduction r dépendant de l'allongement (l'allongement est le rapport de la longueur au diamètre de la maitresse section).

Pour des corps fusiformes à méridien parabolique, ce coefficient $r = 0,733$ pour un allongement 2 (marche longitudinale), 0,433 pour le même allongement (marche transversale), 0,0321 pour un allongement 3 (marche longitudinale).

Soit à évaluer la résistance d'une carène d'allongement 3 de 10^m de diamètre s'avancant par sa pointe avec une vitesse de 8^m :

$$R = rKSV^2 = 0,0321 \times 0,080 \times \frac{314}{4} \times 8^2 = 12,900,$$

à la température 15° et à la pression 760°.

Pour des variations de ces éléments, la densité de l'air changeant, R croît ou diminue légèrement.

XVIII. — Sustentation

Réaliser le maintien au sein de l'atmosphère du navire aérien est la condition *sine qua non* de toute évolution dans l'air.

85. Deux modes de sustentation. — La sustentation peut être obtenue par deux procédés tout à fait différents. Les aérostats ou ballons, grâce au volume de gaz plus léger que l'air renfermé dans leur enveloppe, ont un poids non supérieur au volume d'air qu'ils déplacent. En vertu du principe d'Archimède, la poussée de l'air déplacé peut équilibrer le poids du navire aérien. Si la force ascendante est plus grande que la force descendante, leur différence nommée *force ascensionnelle* F est positive, l'aérostat monte; il descend dans le cas contraire, F est négative; il reste en équilibre à la hauteur où il est placé quand il y a égalité entre les deux forces : F = 0.

Ces appareils appartiennent au système du plus léger que l'air et réalisent la sustentation statique.

Dans le deuxième procédé, on équilibre le poids de l'appareil par la composante verticale de l'action d'un courant d'air sur des surfaces convenablement orientées portées par l'appareil.

Quand cette composante est supérieure ou égale au poids du navire aérien, celui-ci peut s'élever ou se maintenir dans l'atmosphère.

Pour créer ce vent relatif, il faut déplacer rapidement les surfaces sustentatrices, ce qui exige l'action d'une puissance motrice; de là le nom de **sustentation dynamique** donné à ce mode de sustentation qui caractérise le système du plus lourd que l'air : aéroplanes, hélicoptères, orthoptères.

86. Sustentation statique. — Les lois fondamentales de l'équilibre des aérostats, établies par le lieutenant du génie Meusnier en 1783, ont été retrouvées et complétées par le capitaine Charles Renard, fondateur de la science aéronautique. On peut ainsi les résumer⁽¹⁾:

« 1^o Lorsqu'un ballon est complètement rempli par le gaz plus léger que l'air, lorsqu'il est plein, il trouve, en s'élevant suivant la verticale, une zone d'équilibre. Prenons, par exemple, un ballon rempli de 4.000m^3 d'hydrogène. Au niveau de la mer, le gaz de gonflement pèse 200kg , tandis qu'un volume égal d'air pèse 1.300kg . La différence 1.100kg ou force ascensionnelle totale représente le poids total que le ballon peut enlever. A la hauteur de 5.500m , où la pression atmosphérique est la moitié de ce qu'elle est au niveau de la mer, le gaz et l'air ne présentent plus que la moitié des poids précédents, c'est-à-dire 100 et 650kg ; à cette hauteur, le ballon ne peut plus enlever que 550kg . Si donc le poids des parties solides du ballon (y compris les aéronautes et le lest placés dans la nacelle) pèse 550kg , c'est-à-dire, si au départ, la force ascensionnelle est de 550kg , le ballon trouvera sa zone d'équilibre à 5.500m .

(1) L. MARCHIS, *Le Navire aérien*, loc. cit.

D'une manière générale, un ballon rempli au niveau de la mer et dont la force ascensionnelle au départ sera égale à $\frac{4}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$ de la force ascensionnelle totale, trouvera sa zone d'équilibre à une hauteur telle que la pression de l'atmosphère ait perdu 0,4, 0,2, 0,3, ... de sa valeur.

C'est ainsi qu'un ballon de 1.000m^3 dont la force ascensionnelle au départ est de 110, 220, 330^{kg}, ... trouvera sa zone d'équilibre à des hauteurs de 800, 1.800, 2.900^m, ... La zone d'équilibre d'un ballon plein s'élève donc avec la force ascensionnelle au départ.

« 2^e Supposons que, par suite de l'une des nombreuses causes d'alourdissement, telles que la pluie, la neige, les fuites de gaz inévitables, le ballon vienne à descendre au-dessous de la zone d'équilibre. Il cesse d'être plein et devient **flasque**.

« Dans ces conditions, *le ballon descend jusqu'à terre sans trouver de nouvelle position d'équilibre*.

« 3^e Si l'aéronaute veut enrayer son mouvement de descente, il est obligé d'alléger son ballon, de jeter du lest. L'aérostat remonte alors, dépasse sa première zone d'équilibre et se fixe dans une **nouvelle zone d'équilibre plus élevée que la première**.

« Reprenons notre ballon de 1.000m^3 . Supposons que sa force ascensionnelle au niveau de la mer soit égale à 110^{kg}, il trouvera, comme nous l'avons déjà dit, sa zone d'équilibre à une hauteur de 800^m. Si, par suite d'un alourdissement, le ballon descend, et si, pour enrayer le mouvement de descente, l'aéronaute jette 110^{kg} de lest, il ne retrouve en montant une zone d'équilibre qu'à 1.800^m. A mesure que le voyage se prolonge et que la provision de lest s'épuise, l'aéronaute voit sa zone de navigation s'élever de plus en plus et atteindre même pour le gros ballon une hauteur incommodé, fatigante et parfois dangereuse.

« C'est ainsi que, dans leur célèbre ascension de 1900, qui les a conduits en 36 heures de Paris à Kiew, MM. de La Vaulx et de Castillon de Saint-Victor ont beaucoup souffert, vers la fin de leur voyage, du froid et de la raréfaction de l'air ; ils ont dû, en effet, séjourner pendant longtemps à des altitudes com-

prises entre 3.000 et 6.000^m, comme le montre le **diagramme horaire** de leur ascension (*fig. 82*). Cette impossibilité de choisir sa zone de navigation empêche en outre l'aéronaute de profiter des courants aériens favorables qui l'entraîneraient vers le but qu'il se propose d'atteindre et le met à la merci des courants contraires. »

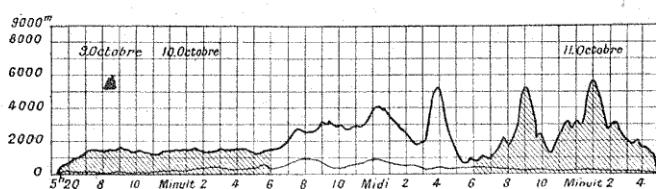


FIG. 82.

On atténue ces inconvénients en disposant à l'intérieur du ballon une poche dans laquelle on insuffle de l'air. Ce **ballonnet à air**, dit encore ballonet intérieur, permet à l'aéronaute de naviguer à une hauteur inférieure à celle qu'il avait d'abord atteinte, en choisissant entre deux limites déterminées la zone d'équilibre. On peut ainsi, avec des ballons sphériques, faire des voyages de plus longue durée ou de plus longue distance.

87. Sustentation dynamique.

— Elle est assurée :

- 1° Par un *organe spécial* : une ou plusieurs paires d'hélices à axe vertical, qui, en tournant, prennent appui sur l'air; la composante verticale ascendante de cette réaction de l'air maintient l'appareil en équilibre si elle est égale au poids de ce dernier, et détermine son ascension si elle est plus grande. Les appareils qui utilisent ce mode de sustentation indépendante sont désignés sous le nom d'**hélicoptères** ;

- 2° Par le mouvement de *translation horizontale des ailes* de l'appareil ; ce déplacement leur est communiqué par une ou plusieurs hélices propulsives mues par un moteur. Les ailes sont des surfaces inclinées sur la direction du mouvement ; la composante verticale de la réaction normale de l'air balayé

est capable d'équilibrer le poids total du navire aérien. Ces appareils se nomment des **aéroplanes** : **monoplans**, quand ils n'ont qu'une paire d'ailes disposées, comme celles de l'oiseau, côte à côté; **biplans, triplans**, quand ils comportent deux ou trois séries de plans superposés;

3^e Par le *battement d'ailes*, qui assure en même temps la progression horizontale. Ces appareils, imitant grossièrement le vol des oiseaux, se désignent sous le nom d'**ornithoptères**.

88. Planeurs, cerfs-volants. — Les aéroplanes peuvent être dépourvus de propulseurs.

a) Les aéroplanes sans moteurs ou **planeurs** utilisent comme puissance motrice la pesanteur.

L'aviateur porte le planeur en courant contre le vent ; sa vitesse relative par rapport à l'air est égale à la somme de sa vitesse propre et de celle du vent ; quand sa valeur est assez grande l'homme est soulevé, plane dans l'air, puis retombe plus ou moins doucement sur le sol.

La figure 83 représente un appareil monoplan de Lilienthal (1893) (!), qui lui permit de parcourir dans l'air des distances de 200 à 300 mètres.

Les deux ailes A formant la surface sustentatrice sont composées d'un châssis d'osier recouvert d'étoffe vernie.

Le gouvernail fixe V réalise l'équilibre latéral et le gouvernail horizontal H l'équilibre en plongée.

b) Dans les **cerfs-volants** ou aéroplanes captifs, c'est le vent qui est la puissance motrice, ils résistent par leurs câbles au vent. On les utilise couramment pour faire des observations météorologiques et on essaie de les perfectionner pour l'observation en temps de guerre des mouvements de l'ennemi ou des sous-marins.

A cet effet, on utilise des *trains cellulaires* de cerfs-volants. Le train principal est constitué par 3 ou 4 planeurs cellulaires dont les cinq toiles rectangulaires (une médiane verticale) sont fixées sur un cadre en bambou entretenu par des montants ou des diagonales de même nature. Des ail-

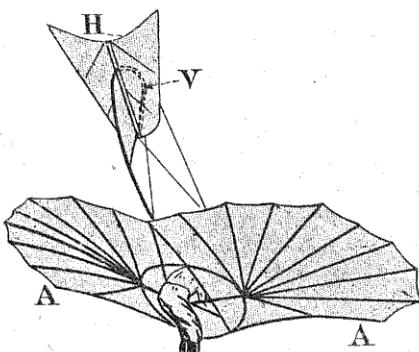


FIG. 83.

rons triangulaires assurent la stabilité de l'appareil. Ce train principal soulevé par le vent tire sur le câble de retenue. La nacelle est suspendue au chariot roulant, sous l'action d'un train secondaire de cerfs-volants, sur le câble tendu. Le pilote peut ainsi monter ou descendre à sa guise, le train principal conservant la même altitude.

89. Sustentation orthoptère. — Supposons que l'on abaisse verticalement un plan horizontal mince ; il éprouve une résistance $R = KSV^2$, K étant le coefficient de résistance de l'air 0,080, S sa surface et V sa vitesse de descente. Cette résistance permet d'équilibrer la pesanteur. Il est facile d'imaginer un appareil d'aviation porteur de deux surfaces sustentatrices, l'une descendant pendant que l'autre monte, la surface descendante étant horizontale et la surface montante verticale. Un tel appareil purement théorique se nomme **orthoptère**.

Evaluons la puissance nécessaire pour maintenir en l'air la charge P à l'aide de la surface horizontale S s'abaissant avec une vitesse uniforme V . La résistance de l'air égale le poids P . Par suite :

$$(1) \quad P = R = KSV^2.$$

La puissance développée ou travail par seconde est :

$$(2) \quad Q = PV = KSV^3.$$

Elevons (1) au cube et (2) au carré, nous avons :

$$P^3 = K^3 S^3 V^6$$

et

$$Q^2 = K^2 S^2 V^6,$$

d'où, en divisant membre à membre :

$$(3) \quad \frac{Q^2}{P^3} = \frac{4}{KS}.$$

On voit que, pour une même surface horizontale, le rapport $\frac{Q^2}{P^3}$ du carré de la puissance au cube du poids soutenu est constant.

Transformons la relation (3) en multipliant ses deux membres par P , nous trouvons :

$$(4) \quad \frac{Q^2}{P^2} = \frac{P}{KS} \quad \text{ou} \quad \left(\frac{Q}{P}\right)^2 = \frac{1}{K} \times \frac{P}{S}.$$

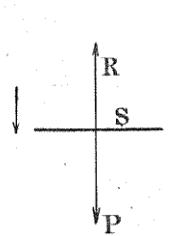


Fig. 84.

Cette équation nous montre que la puissance n'est pas proportionnelle au poids soutenu, puisque $\frac{Q}{P}$ n'est pas constant.

Ce rapport $\frac{Q}{P} = \frac{PV}{P} = V$, qui représente la vitesse avec laquelle il faut soulever le poids P pour produire la puissance Q , se nomme souvent **vitesse fictive d'ascension**.

Le rapport $\frac{P}{S}$ représente la charge par mètre carré du sustentateur que nous pouvons désigner par p . La relation (4) devient alors :

$$(5) \quad V^2 = \frac{p}{K}$$

Supposons $p = 16^{kg}$ par mètre carré, $K = 0,080$, alors :

$$V = \sqrt{\frac{16}{0,08}} = \sqrt{200} = 14,44 ;$$

telle est la vitesse d'abaissement du plan nécessaire pour réaliser la sustentation.

90. Sustentation oblique. — Dans la sustentation orthogonale, la surface S nécessaire pour la réaliser est donnée par la relation :

$$(6) \quad S = \frac{1}{K} \frac{P^3}{Q^2},$$

tirée de (3).

Pour un appareil d'aviation dont les surfaces sustentatrices ont une aire s , pour une même puissance Q capable de faire progresser horizontalement dans l'atmosphère l'appareil de poids P , il faudra que la surface s égale :

$$s = \frac{1}{k} \frac{P^3}{Q^2},$$

k n'étant plus la résistance de l'air ; le coefficient $\frac{1}{k}$ est la caractéristique du système employé, il dépend de la forme des ailes, de leur angle, etc. Plus il sera petit, plus la surface de sustentation nécessaire sera réduite, moins il exigera, pour une charge donnée par mètre carré, une vitesse fictive considérable.

Le rapport $\frac{S}{s} = Q$ représente la **qualité sustentatrice** de l'appareil. Elle mesure la valeur de la sustentation de l'appareil en prenant comme unité de qualité celle du système orthoptère.

La relation (4) se transforme en y introduisant Q :

$$(7) \quad \left(\frac{Q}{P}\right)^2 = \frac{1}{K} \times \frac{P}{Qs} \quad \text{ou} \quad V = \frac{Q}{P} = \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \frac{P}{s} \times \frac{1}{Q}}.$$

La puissance motrice par unité de poids nécessaire pour faire progresser

la même charge par mètre carré de surface, est en raison inverse de la racine carrée de la qualité Q. Par suite, le poids par cheval du moteur de ces deux aéroplanes est proportionnel à la racine carrée de la qualité Q.

Ainsi, si pour une charge de 20^{kg} par mètre carré, il faut pour un appareil orthoptère un moteur pesant 600^{kg} par cheval, pour un aéroplane de qualité 36, un moteur de $600 \times \sqrt{36} = 3.600$ par cheval peut assurer le vol.

91. Moyens d'améliorer la qualité sustentatrice des aéroplanes.

Ces derniers appareils sont ceux qui présentent la meilleure qualité sustentatrice. Elle est due à l'attaque oblique de l'air au lieu de l'attaque perpendiculaire de l'orthoptère.

La résistance opposée par l'air au mouvement est CR appliquée au centre de pression ; cette résistance presque verticale se décompose en deux :

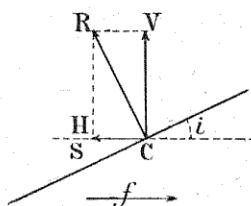


FIG. 85.

CV, composante verticale ou *poussee* qui, équilibrant le poids de l'appareil, assure la sustentation ;

CH, composante horizontale ou *trainée* s'opposant à la progression du plan et qui représente l'effort à faire pour obtenir cette progression à la vitesse nécessaire à la sustentation du système.

On voit que CH est d'autant plus petit par rapport à CV que l'angle i est petit. Il y a donc avantage à adopter de faibles angles d'attaque.

C'est grâce au vol oblique que l'aviation a fait de rapides progrès.

Nous pouvons évaluer la puissance utile Φ nécessaire à la sustentation :

$$\Phi = CH \times V = R \cdot \sin i \cdot V.$$

Si nous admettons pour un angle très petit que $R = 2KSV^2 \sin i$:

$$\Phi = 2KSV^3 \cdot \sin^2 i \quad \text{et} \quad \Phi^2 = 4K^2S^2V^6 \sin^4 i.$$

D'autre part,

$$P = CV = R \cos i \quad \text{et} \quad P^3 = 8K^3S^3V^6 \sin^3 i \cos^3 i.$$

Par suite

$$\frac{Q^2}{P^3} = \frac{\sin i}{2K S \cos^3 i};$$

si supposant i très petit, $\sin i = i$, $\cos i = 1$,

$$(8) \quad \frac{Q^2}{P^3} = \frac{i}{2K S} \quad \text{ou} \quad \left(\frac{Q}{P}\right)^2 = \frac{i}{2K S}.$$

Le coefficient $\frac{i}{2K}$ est bien plus petit que $\frac{4}{K}$ de l'appareil orthoptère ; sa qualité sustentatrice $Q = \frac{2}{i}$ est grande ; la puissance diminue avec l'angle i (3), alors que la vitesse augmente (7).

Si l'angle d'attaque est de 6° , angle moyen des aéroplanes, $i = 0,105$:

$$Q = \frac{2}{0,105} = 19.$$

On améliore la qualité sustentatrice en donnant à la voilure une forme allongée dans le sens transversal perpendiculaire à la marche. L'envergure des ailes des oiseaux n'est-elle pas d'autant plus grande que ceux-ci ont plus puissants voluteurs ?

Admettons exacte la formule de Soreau pour des ailes très allongées dans le sens transversal et attaquant l'air sous un angle faible :

$$R = 5KSV^2 \sin i.$$

En procédant comme précédemment, nous trouverons pour la puissance :

$$Q^2 = \frac{P^3 i}{5K S} \quad \text{ou} \quad \left(\frac{Q}{P}\right)^2 = \frac{i}{5K S};$$

la qualité sustentatrice :

$$Q = \frac{1}{\frac{i}{5K}} = \frac{5}{i}.$$

Si l'angle d'attaque est de 6° ,

$$Q = \frac{5}{0,105} = 47,6.$$

Le poids par cheval nécessaire à la sustentation serait $\sqrt{47,6} = 6,9$, moins petit, avec ce plan qu'avec un plan orthogonal, soit :

$$600 \times 6,9 = 4140.$$

Enfin, on a constaté qu'une forme légèrement courbe dans le sens antéro-postérieur, comme sur la figure, accroissait encore la qualité sustentatrice. Les ailes des oiseaux présentent d'ailleurs cette forme pendant le vol et, en l'adoptant, les aéroplanes ont fait de réels progrès.

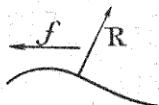


FIG. 86.

XIX. — Direction

92. Le vent pour l'aéronaute. — Un ballon libre dans l'atmosphère est entraîné par le courant d'air dans lequel il se trouve ; il fait partie intégrante de cet air : le pilote ne ressent aucun souffle le frôler ; la fumée de sa cigarette s'élève verticalement, les corps légers qu'il jette, tels que plumes, papiers à cigarette, accompagnent pendant des heures le ballon sans se déplacer sensiblement par rapport à lui. On exprime tous ces faits en disant que *le vent n'existe pas pour l'aéronaute d'un navire aérien libre équilibré au sein de l'atmosphère*.

93. Vitesse propre et vent propre. — Ce navire peut se déplacer par rapport à la masse d'air qui l'entoure s'il est muni d'un propulseur.

La vitesse de son déplacement relativement à l'atmosphère dans lequel il est plongé se nomme **vitesse propre** du navire aérien. Le pilote ressent alors un vent venant de l'avant et se dirigeant vers l'arrière ; la vitesse de ce **vent propre** du navire est égale et opposée à la vitesse propre.

Une vitesse quelconque, si petite qu'elle soit, suffit à l'aérostat pour atteindre un point quelconque de l'atmosphère, un nuage ou un ballon entraîné comme lui par le vent. Mais il n'en est plus de même lorsqu'on veut atterrir en un point déterminé du sol immobile.

94. Mouvement absolu d'un navire aérien. — Par rapport au sol, le navire aérien est animé de deux mouvements simultanés : mouvement d'entraînement avec la masse d'air environnante à la vitesse de celle-ci et mouvement relativement à cet air ambiant à la vitesse propre du navire.

En vertu du principe d'indépendance des effets des mouvements simultanés, le navire primitivement en A au-dessus du sol vient en C au bout d'une heure, AB représentant la

direction et la vitesse à l'heure du vent et BC la direction et la vitesse propre du navire. La trajectoire de l'aérostat au-dessus du sol est AC, AC est la vitesse du navire, relativement au sol c'est la résultante de la vitesse du vent et de la vitesse propre du navire.

On voit que la direction AC de la route et la grandeur de la vitesse réelle de l'appareil aérien dépendent de trois éléments : 1^o la vitesse du vent ; 2^o la vitesse propre ; 3^o l'angle des deux vitesses. Le pilote ne peut point changer la vitesse du vent, mais il peut, en réglant le moteur, faire varier la vitesse propre de 0 à la vitesse propre maximum que peut lui imprimer le propulseur ; quant à l'angle, il peut prendre toutes les valeurs de 0 à 360°, de telle sorte que la circonference de rayon BC est le lieu des points d'atterrissement au bout d'une heure.

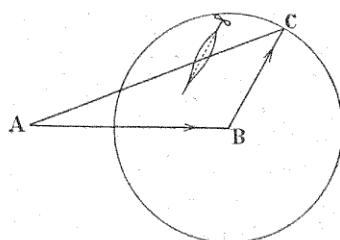


FIG. 87.

95. Angle abordable. — Dirigeabilité partielle. —

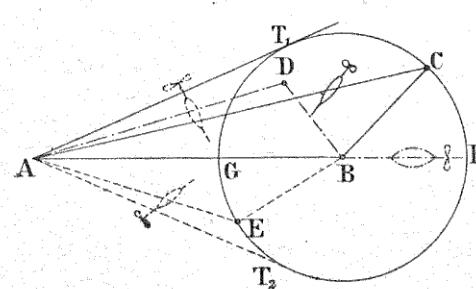


FIG. 88.

Si, le navire partant de A, AB représente la direction et la vitesse du vent, BC la vitesse propre maxima, la circonference de rayon BC est la limite des points abordables au bout d'une heure ; les tangentes AT_1 et AT_2 à cette circonference limitent l'angle T_1AT_2 dit angle abordable. Le navire peut, en effet, suivre

les tangentes AT_1 et AT_2 à cette circonference limitant l'angle T_1AT_2 dit angle abordable. Le navire peut, en effet, suivre

à son gré l'une quelconque des directions réelles AD, AE à l'intérieur de T_1AT_2 . Dans les directions AC, AF, le navire se laisse pousser par le vent; suivant AE, il lutte contre le vent. D est un point d'atterrissement sur la direction AD pour une vitesse propre $BD < BC$. Sur la figure, l'hélice est placée à l'avant du navire.

REMARQUE I. — Les vitesses réelles maxima et minima sont AF et AC, égales à la somme ou la différence de la vitesse du vent et de la vitesse propre, et correspondant à une marche vent arrière ou debout.

REMARQUE II. — L'angle abordable est d'autant plus ouvert que la vitesse propre est grande relativement à celle du vent.

Cas particulier où la vitesse du vent est égale à la vitesse propre maximum. — Dans ce cas limite, les deux tangentes AT_1 et AT_2 se confondent en une seule et l'angle abordable vaut 180° , embrassant la moitié de l'horizon. La vitesse réelle peut varier de 0 à

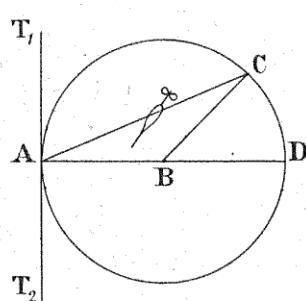


FIG. 89.

$AD = 2$ fois la vitesse propre.

96. Dirigeabilité totale. — Elle est obtenue quand la vitesse propre est supérieure à la vitesse du vent. En effet, $BC > AB$, le point de départ A est à l'intérieur du cercle abordable, on peut se rendre de ce point dans toutes les directions autour de A, l'angle abordable vaut 360° , le navire aérien est totalement dirigeable.

La condition essentielle pour qu'un navire aérien soit dirigeable est donc que la vitesse propre soit supérieure à celle du vent. Pratiquement, elle doit lui être supérieure de 4^m par seconde environ.

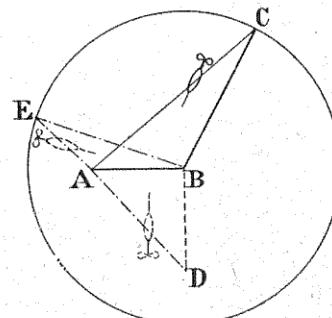


FIG. 90.

La dirigeabilité est une propriété relative du navire par rapport au vent qui souffle au moment du vol. Or la vitesse du vent est variable, il en résulte qu'un navire, possédant la dirigeabilité totale aujourd'hui, peut la perdre le lendemain.

Les diverses observations anémométriques nous permettent d'admettre dans notre région que la vitesse du vent est inférieure à 10^m par seconde (36^{km} à l'heure), environ 7 fois sur 10, que cette vitesse ne dépasse pas 15^m (54^{km} à l'heure) 9 fois sur 10, que 99 fois sur 100 elle est inférieure à 25^m, que des vents supérieurs à 30^m (108^{km} à l'heure) ne se présentent pas 1 fois sur 1.000.

Les vitesses propres des dirigeables ne dépassent pas actuellement 14^m à la seconde, ils ne peuvent donc sortir que $\frac{360 \times 7}{10} = 252$ jours par an avec certitude de revenir au point de départ.

Les aéroplanes peuvent réaliser des vitesses propres maxima au moins égales à 17 ou 18^m par seconde (quelques appareils atteignent même 30^m); ils peuvent effectuer un circuit fermé plus souvent que les dirigeables, 8 à 9 fois sur 10.

97. Réalisation de grandes vitesses propres. — Pour augmenter la dirigeabilité d'un appareil, il faut donc accroître sa vitesse propre maximum.

Comme la résistance à l'avancement est proportionnelle au carré de la vitesse, la puissance motrice croît plus vite que la vitesse propre, à peu près comme le cube de cette vitesse. Si on veut doubler celle-ci, il faut utiliser un moteur 8 fois plus puissant, qui sera naturellement beaucoup plus lourd. L'emploi des **moteurs légers**, de 1^{kg}, 2^{kg}, 2^{kg}, 5 par cheval, permet seul d'atteindre de grandes vitesses propres sans donner au moteur un poids considérable qui exigerait un appareil, ballon ou aéroplane, de dimensions colossales. Il y a aussi intérêt à employer des *propulseurs à grand rendement* pour utiliser le mieux possible la puissance motrice.

On diminue la résistance à l'avancement en donnant au navire une forme convenable.

Pour les autoballons, on allonge le ballon en forme de *fuseau*; nous avons vu qu'une carène fusiforme d'allongement 3 présentait une résistance 31 fois moindre qu'un plan de section égale au maître couple et 5 fois moindre que pour une sphère de même diamètre que ce dernier.

Il faut maintenir cette forme fusiforme de moindre résistance pendant toutes les évolutions du navire.

Or, le ballon s'élevant, il perd du gaz; comme on ne peut songer à réintroduire le gaz perdu lorsqu'il descend, le ballon devient flasque : on insuffle alors de l'air dans un *ballonnet intérieur* analogue à celui des ballons sphériques, et le ballon est ainsi maintenu gonflé.

Le comte de Zeppelin assure la permanence de la forme par la rigidité d'une carcasse en aluminium divisée en compartiments pour recevoir chacun un ballon contenant le gaz de gonflement. L'ensemble est recouvert d'une étoffe vernie pour atténuer les frottements.

Pour les aéroplanes, il est bon de faire du corps le meilleur projectile en lui donnant la forme de fuseau à section triangulaire ou quadrangulaire (fig. 91); le fuseau est terminé en pointe aux deux bouts, les surfaces unies sans saillies à l'extérieur.



FIG. 91.

Corps fusiforme à section carrée formé de longrines maintenues par des gabarits et des croisillons en fil d'acier.

Les ailes sont recouvertes de toile bien lisse sur leurs deux faces. Les haubans soutenant les surfaces sustentatrices sont en fils d'acier très résistants sous un faible diamètre.

Au lieu de donner au corps principal d'un aéroplane la forme

d'une carène, on peut se contenter de donner des formes fuselées aux diverses pièces du fuselage.

Où diminue ainsi la résistance à l'avancement que l'air oppose à la carène. Nous verrons plus loin que, pour de pareils aéroplanes, la marche tête au vent est assez stable pour ne point nécessiter de quille ou empennage vertical.

98. Rigidité de la suspension de la nacelle au ballon. — Si les arbres des hélices propulsives peuvent être fixés sur la carène lorsqu'elle est rigide comme celle du *Zeppelin*, il n'en est plus de même lorsqu'elle est formée par un tissu imperméable, ce qui est le cas le plus fréquent. La nacelle porte le propulseur et le gouvernail; c'est par suite elle qui doit entraîner le ballon, il est donc nécessaire que leur liaison assure leur solidarité parfaite. Pour obtenir cette rigidité, on adopte ordinairement la suspension funiculaire croisée due à Dupuy de Lôme, dont voici le principe.

Pour relier un point M de la nacelle au ballon AB, employons deux cordes souples, mais peu extensibles; le triangle AMB est indéformable pour une inclinaison légère, le poids appliqué en M tendant les cordes. Celles-ci, entre certaines limites d'inclinaison supérieures aux limites admissibles de tangage, assurent donc la même rigidité d'une construction métallique.

Pour relier invariablement la nacelle MN du ballon AB, on relie séparément M et N aux points A et B; les suspentes extérieures AM et BN forment le filet porteur, les suspentes intérieures AN et BM le filet de balancines.

Dans les dirigeables actuels, l'allongement de la carène étant 5 ou 6, la nacelle est formée d'une poutre armée assez longue pour répartir les suspentes sur toute l'étendue de l'enveloppe.

99. Dirigeabilité pratique. — Pour posséder la dirigeabilité véritablement pratique, un navire aérien doit encore assurer sa stabilité en altitude, sa stabilité de route ou horizon-

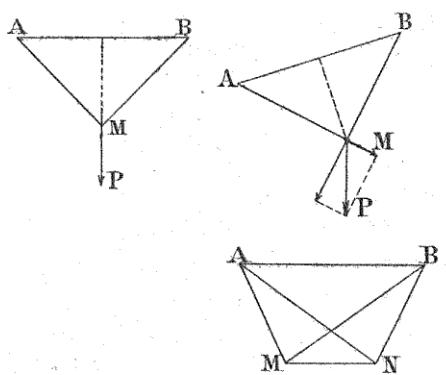


FIG. 92-94.

tale, sa stabilité longitudinale ou verticale et sa stabilité transversale ou latérale.

100. Pilotage en altitude. — Pour le maintenir à une hauteur donnée ou l'atteindre d'abord, on peut utiliser la soupe et le lest, la première pour éviter la montée, la deuxième pour empêcher la descente. Mais, comme la provision de lest s'épuiserait assez vite, on préfère disposer d'une partie de la puissance motrice pour combattre les variations de la force ascensionnelle.

On munit l'aérostat de **plans horizontaux mobiles** encore appelés **gouvernails de profondeur**.

S'ils sont placés au voisinage du maître couple vers la verticale du centre de gravité, la poussée exercée sur leur surface inclinée fait naître une composante verticale qui équilibre la force verticale statique, ils ne provoquent donc qu'un mouvement parallèle de montée ou de descente.

S'ils sont disposés à l'avant ou à l'arrière : gouvernail de tête ou de queue, ils produisent une inclinaison du ballon dont la résistance qu'il éprouve de la part de l'air varie par ce fait et compense la force statique.

Dans les aéroplanes, on opère de même ; l'empennage horizontal est constitué le plus souvent par les **plans de queue** ou les **gouvernails de profondeur d'avant ou d'arrière**, mis par le pilote. En relevant le gouvernail de profondeur d'avant, l'angle d'attaque augmente, par suite la résistance de l'air sur ce plan et avec elle son effet rotatif autour de l'horizontale transverse du centre de gravité ; l'appareil se cabre. Mais la traînée croît également, alors la vitesse diminue ; c'est pourquoi il faut faire tourner plus rapidement le moteur pour vaincre l'excès de résistance. L'inverse se produit en abaissant le gouvernail d'avant. On explique de même la manœuvre du gouvernail arrière.

101. Stabilité de route ou horizontale. — Pour pouvoir orienter à son gré l'axe du navire, pour se diriger autrement dit, l'aéronaute doit posséder un appareil dont l'axe

longitudinal se maintient toujours à peu près tangent à la trajectoire. Pour obtenir ce résultat, on munit le navire aérien de surfaces verticales situées dans le plan de symétrie et sur lesquelles l'air réagit lorsque l'axe du bâtiment s'éloigne de la direction de la route. Ces surfaces sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus développées et plus éloignées du centre de gravité de l'appareil (grand bras de levier), il faut donc les disposer à l'arrière et ramener le centre de gravité à l'avant en adoptant une **carène dissymétrique** : la grosse pointe en avant, l'arrière effilée.

Dans les dirigeables, ces surfaces verticales sont ordinairement entoilées et disposées en forme de quille. Elles peuvent être formées ainsi par des ballonnets à l'arrière remplis de gaz de gonflement.

Comme les dirigeables, les aéroplanes à carène doivent être pourvus d'une quille ou empennage fixe vertical à cause de la résistance notable opposée par la carène à l'avancement.

Mais, pour les aéroplanes sans carène, elle n'est pas nécessaire, la stabilité de l'appareil tête au vent étant suffisante.

Le plus souvent, on rencontre cependant des surfaces verticales disposées en queue, vers le milieu ou même à l'avant de l'appareil. Pour la stabilité automatique, il faut que le centre de poussée sur toutes ces surfaces se trouve en arrière du centre de gravité pour que l'effet rotatif résistant de l'air soit contraire à la déviation.

102. Stabilité longitudinale. — En marche, le navire aérien peut osciller autour d'un axe perpendiculaire à son axe longitudinal. Ces oscillations sont des mouvements de **tangage**. Il est nécessaire de les réduire le plus possible.

Considérons un aérostat dont l'axe longitudinal est horizontal en équilibre dans l'atmosphère ; les centres de gravité G et de poussée P sont situés sur la même verticale ; la force ascensionnelle Pv est égale et opposée au

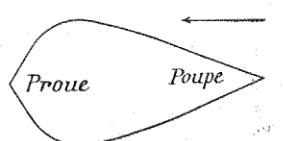


FIG. 95.

poids Gp de l'appareil. Si celui-ci s'incline, prend la position de la figure 97, les deux forces Gp et Pv forment un couple stabilisateur, qui tend à ramener le navire dans sa position normale. Ce couple redresseur a pour valeur :

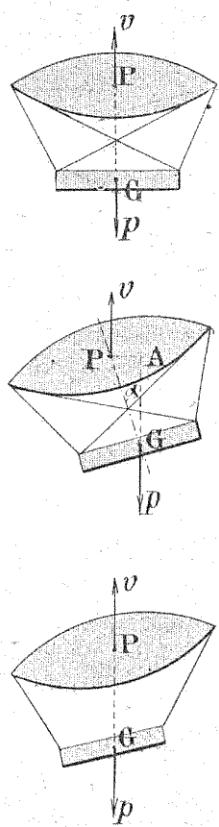


FIG. 96 à 98.

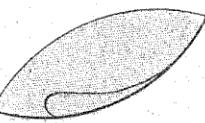


FIG. 99.

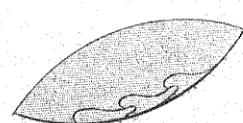


FIG. 100

$$p \times PA = p \times PG \times \sin \alpha,$$

son effet est d'autant plus grand que l'inclinaison est plus forte. Mais, pour que ce couple existe, il est nécessaire d'assurer aussi invariablement que possible la liaison de la nacelle et du ballon, sans quoi l'appareil pourrait se déformer comme sur la figure 98, le centre de gravité restant sur la verticale du centre de poussée.

Le couple redresseur $p \times PA$ diminue avec le bras de levier AP , c'est-à-dire lorsque le centre de poussée P se rapproche de la partie relevée. C'est précisément ce qui se produit quand le ballon est flasque par suite du déplacement du gaz de gonflement vers la pointe. Il est donc nécessaire de maintenir le ballon entièrement gonflé.

Le ballonet à air permet d'obtenir ce résultat. S'il est complètement vide et le ballon plein, ou s'il est tout à fait plein, l'inclinaison du ballon n'entraîne aucun déplacement de gaz d'un point à l'autre. Mais, si le ballonet n'est plein qu'en partie, son enveloppe non tendue ne peut s'opposer

au déplacement de l'hydrogène, qui, plus léger que l'air, se rend à la partie relevée du ballon; elle se déforme (fig. 99), ce qui accentue le tangage dès qu'il commence. Pour obvier à cet inconvénient, le colonel Renard proposa de diviser le ballonet en compartiments par des cloisons verticales (fig. 100), qui sont actuellement d'usage courant.

Vitesse critique. — Les conditions précitées qu'il est nécessaire de réaliser dans la construction des dirigeables ne sont pas suffisantes pour assurer sa stabilité longitudinale, surtout si la vitesse propre du navire est assez grande. La cause dynamique de l'instabilité que nous allons étudier a un effet prépondérant.

Repronons à ce sujet les expériences du colonel Ch. Renard.

Dans un tube horizontal de gros diamètre, on place une carène fusiforme mobile autour d'un axe horizontal normal à l'axe du tube.

Un ventilateur engendre un violent courant d'air dans le tunnel. La carène peut être maintenue dans une inclinaison déterminée au moyen de poids q placés dans le plateau d'un levier calé sur l'axe O d'oscillation.

En placant tout d'abord une carène fusiforme symétrique AB qui est en équilibre indifférent sans courant d'air, on constate que, sous l'influence d'un courant d'air horizontal la carène est en équilibre instable dans la position horizontale AB. Sitôt déplacée légèrement, elle tourne dans un plan vertical et vient se placer en A_1B_1 perpendiculairement à la direction du courant d'air, position d'équilibre stable. Si l'on veut maintenir la carène dans une position intermédiaire A_2B_2 , il faut placer des poids q dans le plateau du levier; l'effet redresseur égal au moment de q par rapport à l'axe O mesure le couple perturbateur C' dû au courant d'air. On constate qu'il est proportionnel au carré de la vitesse V de ce dernier :

$$C' = K' V^2.$$

K' est une constante dépendant de l'inclinaison α et de la forme de la carène.

Pour une carène dissymétrique, celle des dirigeables, le couple perturbateur est plus petit, mais toujours proportionnel au carré de la vitesse.

Dans les auto-ballons, la vitesse du courant d'air relatif est la vitesse propre du navire, le couple perturbateur croît donc proportionnellement au carré de celle-ci. Pour maintenir l'appareil horizontal, il faut donc que le couple stabilisateur $C = p \times PA$ (fig. 97) soit supérieur au couple perturbateur. Le couple de rappel C_1 du ballon a pour valeur $C_1 = C - C'$. Il est nul pour $C = C'$ ou $K' V^2 = p \times PA$ et $V^2 = \frac{p \times PA}{K'}$.

L'équilibre est indifférent. La vitesse propre V de l'appareil, qui engendre un couple perturbateur égal au couple stabilisateur est appelée **vitesse critique**. Sitôt dépassée, C' l'emporte sur C et l'appareil vient se placer dans sa position d'équilibre stable, son axe longitudinal à peu près vertical. Pour un appareil donné, il peut donc être dangereux d'accroître la puissance de son moteur, car si la vitesse propre du navire devient par ce fait supérieure à sa vitesse critique, son instabilité longitudinale entraînera sa chute.

Il n'y a stabilité que pour des vitesses propres inférieures à la vitesse critique de l'appareil.

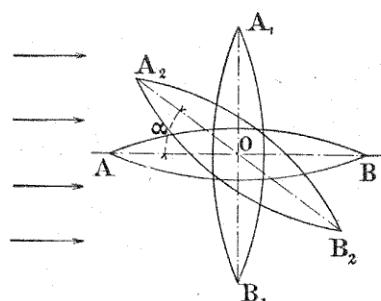


FIG. 104.

Pour utiliser des vitesses propres assez grandes, il y a donc lieu d'accroître la vitesse critique.

On arrive à ce résultat en donnant à la carène la forme d'une flèche empennée E. Dans le tunnel, si au corps dissymétrique on dispose une queue empennée, l'axe longitudinal, au lieu de se placer normalement au courant

d'air, se maintient dans une position oblique d'autant plus éloignée de la perpendiculaire que la queue et l'empennage sont plus longs. Le courant d'air agissant sur les plans d'empennage détermine un effet rotatif autour de l'axe horizontal du centre de gravité G de la carène de sens inverse du couple perturbateur. Cet effet redresseur, appelé couple d'empennage C'' , est égal au moment de la composante normale N de l'action de l'air sur l'empennage par rapport à l'axe G, soit $N \times GE$; il est par suite d'autant plus grand que la surface d'empennage est plus grande et qu'elle est plus éloignée de G; il est proportionnel au carré de la vitesse.

Quand $C'' = C'$, la stabilité du navire aérien est la même en marche qu'au repos; elle est assurée par le couple stabilisateur C indépendant de la vitesse.

Quand $C'' > C'$, le couple de rappel est égal à :

$$C_1 = C + (C'' - C') = C + (K'' - K') V^2,$$

la stabilité augmente alors avec la vitesse.

Pour les aéroplanes, la stabilité longitudinale s'obtient automatiquement par l'empennage horizontal ou plan de queue ou par des surfaces mobiles autour d'axes horizontaux : ailerons constituant les gouvernails de profondeur actionnés par le pilote.

Le plan ou les plans horizontaux fixes de la queue sont plus effacés que les ailes, c'est-à-dire attaquent l'air sous un angle plus faible que les plans sustentateurs. Il en résulte qu'une faible oscillation verticale de l'appareil produit une modification relativement plus forte dans l'angle d'incidence de la queue que dans l'angle d'attaque des ailes et conséquemment une variation plus grande de poussée de l'air (par M^2) sur la queue que sur les ailes. Si, par exemple, l'appareil pique du nez, la

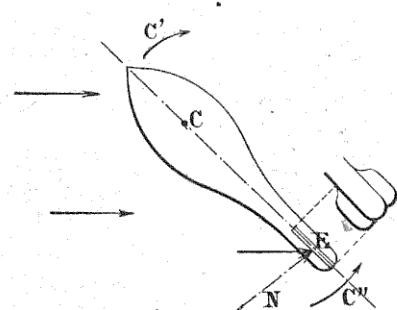


FIG. 102.

diminution de la poussée de l'air sera plus forte sur la queue que sur les ailes, et quoique celles-ci soient plus étendues ; comme le bras du levier de la queue, par rapport au centre de gravité, est très grand, l'équilibre peut se rétablir automatiquement. Le tangage est-il plus prononcé, la réaction de l'air sur la queue, au lieu de soulever la queue, presse sur elle de haut en bas et s'oppose ainsi à la rotation de l'appareil.

Nous avons déjà expliqué, dans le pilotage en altitude, la manœuvre du gouvernail de profondeur d'avant.

S'il'appareil se cabre, on abaisse l'avant de ce gouvernail pour le faire piquer du nez.

Au fur et à mesure que l'équilibre se rétablit, l'angle d'attaque du gouvernail continue à varier dans le même sens (augmente ou diminue) et par suite la poussée de l'air qu'il reçoit; l'appareil tend à continuer sa rotation, amorcée pour le rétablissement de l'équilibre.

Le gouvernail d'avant est donc très sensible et en même temps dangereux pour un novice.

Le gouvernail d'arrière jouit des propriétés inverses ; il est peu sensible et peu dangereux, son effet diminuant progressivement sitôt qu'il se réalise.

Signalons aussi le stabilisateur Etevé. C'est une girovette, placée à l'arrière, dont l'orientation change avec le vent et qui commande par bielle-manivelle l'axe de plans mobiles stabilisateurs pour augmenter ou diminuer l'angle d'attaque des ailes.

Cette stabilisation est complétée par un réglage convenable du rapport entre le moment d'inertie de l'appareil autour de la perpendiculaire au plan de symétrie passant par le centre de gravité et l'effet rotatif de la réaction de l'air sur l'empennage total (plans de queue et plans stabilisateurs). Les formes fines des ailes et les formes fuyantes des carènes assurent le glissement régulier de l'air et, par suite, améliorent la stabilité longitudinale.

103. Stabilité transversale. — Alors que la stabilité de route peut être assurée par une voilure de grande envergure, qui offre un couple résistant puissant, la stabilisation dans le sens transversal exige des procédés d'autant plus efficaces que la vitesse de l'aéroplane est plus grande.

On peut utiliser des ailerons A que l'on incline à volonté pour augmenter ou diminuer leur angle d'attaque (monoplans Blériot et Antoinette, fig. 124). Ces ailerons sont indépendants des ailes, placés à leurs extrémités, tournant en sens inverse autour d'axes horizontaux.

On peut encore **gauchir** les ailes (*Wright*). La pression de l'air s'accroît du côté de l'aile qui s'est relevée et diminue de l'autre, et peut ainsi rétablir l'équilibre transversal. Mais la résistance à l'avancement variant dans le sens précédent pour les deux côtés, l'appareil tend à virer du côté de l'aile relevée présentant la plus grande résistance. On évite ce virage par le gouvernail vertical de direction.

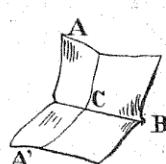
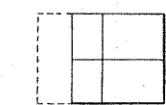


FIG. 103-104.

On met en évidence l'effet du gauchissement des ailes par l'expérience suivante: on réalise un aéroplane en papier en pliant une feuille de cahier assez mince au quart de sa plus grande longueur pour amener le centre de gravité de l'appareil au tiers à partir de l'avant, soit le centre du rectangle primitif de la feuille; on forme ensuite le vé des ailes et on pince l'arête CB pour constituer la quille. Echappé en l'air, l'appareil descend en ligne droite oblique. On relève l'extrémité de l'aile A et on abaisse l'autre, la corne abaissée fendant l'air descend en parcourant le plus grand chemin, l'aéroplane vire du côté de l'autre corne, même lorsque la feuille a été lancée en sens contraire.

Si, pour lutter contre le vent, il est nécessaire de gauchir les ailes ou de manœuvrer les ailerons; par temps calme, le pilote rétablit l'équilibre transversal instinctivement et facilement en déplaçant légèrement son corps du côté opposé à l'aile baissante.

Notons aussi l'action de l'hélice qui, dans les aéroplanes à une seule hélice, tend à déséquilibrer l'appareil par sa rotation. Elle prend en effet appui sur l'air qui réagit et tend à faire tourner l'appareil autour de son axe longitudinal en sens inverse de la rotation de l'hélice.

Le pilote combat cette tendance en se déplaçant légèrement du côté opposé à la rotation et reprenant la position axiale dans la descente planée, moteur arrêté.

En adoptant deux hélices tournant en sens inverse comme les Wright, on évite cette dissymétrie pendant la marche et en même temps l'action gyroscopique.

Stabilisation automatique à l'aide d'une masse gyroscopique. — Faisons tourner très rapidement une toupie sur le plancher, de manière que son axe soit incliné, nous constatons que, durant sa rotation, l'axe conserve son inclinaison et tourne autour de la verticale alors que la pesanteur tend à faire pencher l'axe davantage et ferait tomber la toupie sans la rotation de celle-ci.

La toupie réagit sur l'action de la pesanteur et se déplace normalement à l'action de celle-ci et à son axe. Si on agit sur elle avec la main, elle se déplacera perpendiculairement à la direction de l'effort exercé. Il va sans dire que cette résistance au déplacement croît avec la vitesse de rotation. Cet effet bizarre est un effet gyroscopique.

On conçoit qu'une masse gyroscopique animée d'une rotation très rapide, installée sur un aéroplane ressentant toutes les oscillations de tangage et de roulis, puisse actionner le mécanisme rétablissant l'équilibre tendant à se rompre. Pour virer, le pilote devrait supprimer l'action du gyroscope par un dispositif approprié.

104. Equilibre des forces agissant sur un dirigeable évoluant dans un plan horizontal. — 1^e La trajectoire du dirigeable est rectiligne. — Marche pointe au vent. — L'axe longitudinal se confond avec la direction de la route, l'angle de dérive (angle de ces deux droites) est nul.

Une telle marche est instable en général, la moindre perturbation faisant tourner le ballon autour de la verticale de son centre de gravité. On s'en rend compte expérimentalement en soumettant dans un tunnel, comme au numéro 102, un petit ballon mobile autour d'un axe vertical à l'action du courant d'air d'un ventilateur; le modèle tend à se placer

perpendiculairement au courant d'air (angle de dérive = 90°). Plus l'empennage est développé, plus la position d'équilibre se rapproche de celle de la direction du vent, plus l'angle de dérive est petit.

Dans la marche pointe au vent, pour avoir un équilibre stable, il faudrait donc disposer à l'arrière un empennage très développé; mais celui-ci augmenterait la résistance à l'avancement, réduirait la vitesse propre du navire et, par suite, diminuerait sa dirigeabilité.

La poussée du propulseur est égale et directement opposée à la résistance à l'avancement dans le mouvement de régime. Pour éviter la rotation du ballon à droite ou à gauche autour de la verticale du centre de gravité, le pilote agit sur le gouvernail par un coup de barre, braquant à droite si l'appareil tend à dévier à gauche, comme sur la figure.

Si l'empennage est suffisant pour assurer une bonne stabilité horizontale de route, de légers coups de barre de temps à autre suffisent pour guider le dirigeable en ligne droite.

2^e Virage d'un dirigeable. — Pour tourner à droite, par exemple, il faut d'abord amorcer la rotation du navire en braquant le gouvernail à droite; cette résistance supplémentaire l'entraîne légèrement dans une rotation du sens des aiguilles d'une montre. Puis, en abandonnant la barre, le gouvernail se place dans le plan de symétrie et le dirigeable tourne de lui-même : la résistance opposée par l'air à l'avancement et la poussée de l'hélice ne sont plus directement opposées, leur résultante

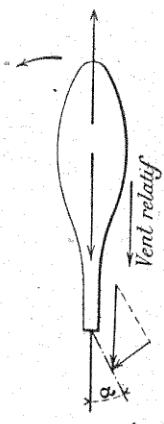


FIG. 405.

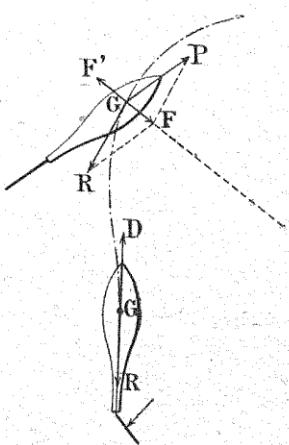


FIG. 406.

tante est la force centripète assurant la rotation du navire; elle est équilibrée par la force centrifuge.

Le virage effectué, il est nécessaire d'arrêter le mouvement de rotation par un coup de barre à gauche qui fait reprendre au dirigeable sa marche en ligne droite.

105. Équilibre des forces agissant sur un aéroplane animé d'une vitesse constante. —

a) L'appareil décrit une trajectoire horizontale rectiligne. — Il doit y avoir équilibre entre les quatre forces suivantes :

1^o La poussée de l'hélice, proportionnelle au carré de sa vitesse de rotation;

2^o La résistance de l'air à l'avancement de l'aéroplane, proportionnelle au carré de la vitesse de translation de celui-ci;

3^o La réaction verticale de l'air sur les surfaces sustentatrices, variant dans le même sens que la précédente;

4^o Le poids GP de l'appareil.

Comme les deux premières forces sont horizontales et les deux dernières verticales, elles doivent être deux à deux opposées et de sens contraire.

b) L'appareil décrit une trajectoire curviligne. — De ce fait prend naissance une cinquième force, force centrifuge, qui doit être équilibrée par les précédentes.

La poussée du propulseur et la résistance à l'avancement, dirigées à peu près suivant l'axe longitudinal du navire tangent à sa trajectoire, sont directement opposées et s'équilibrivent; ces deux forces sont sensiblement perpendiculaires à la force centrifuge située dans le plan normal à la trajectoire. Cette force, appliquée au centre de gravité de l'appareil, ne peut donc être équilibrée que par les troisième et quatrième forces verti-

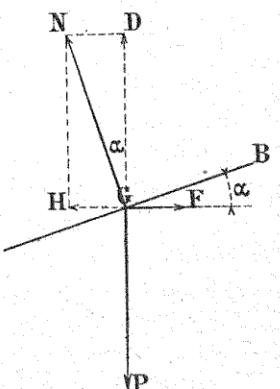


FIG. 107.

cales et, pour cela, l'aéroplane s'incline en tournant autour de l'axe horizontal de symétrie passant par le centre de gravité. Soit AB la trace du plan sustentateur sur le plan de la figure perpendiculaire à l'axe longitudinal G de l'aéroplane.

La composante horizontale GH de la réaction normale GN équilibre la force centrifuge GF ; par suite,

$$GF = GH = GD \tan \alpha = GP \tan \alpha;$$

mais

$$GF = \frac{P}{g} \frac{V^2}{r},$$

V étant la vitesse propre de l'appareil et r le rayon de la courbe décrite; donc :

$$\frac{P}{g} \frac{V^2}{r} = P \tan \alpha \quad \text{et} \quad \tan \alpha = \frac{V^2}{gr}.$$

L'inclinaison que l'on doit donner à la voilure dans un virage est par conséquent proportionnelle au carré de la vitesse et inverse du rayon de courbure. Si elle est trop faible, la force centrifuge l'emporte sur GH et l'aéroplane est poussé à l'extérieur de la courbe ; il décrit une courbe de plus grand rayon ; si elle est trop forte, l'inverse se produit, il vire de plus court. Ceci montre la nécessité d'un apprentissage pour réussir des virages.

Une manœuvre provoquant l'inclinaison de la voilure, comme le gauchissement des ailes par exemple, suffit pour effectuer un virage. L'emploi du gouvernail de direction n'est pas nécessaire.

En effet, l'inclinaison donne naissance à la composante horizontale GH de la réaction sustentatrice de l'air qui, combinée avec l'action horizontale de l'hélice, fait dévier l'appareil de sa direction rectiligne.

C'est pourquoi on réduit de plus en plus la surface de la quille, surtout dans les appareils à faible résistance latérale.

106. Calcul de la puissance à développer dans un aéroplane.

— Cette puissance doit :

a) Assurer la sustentation de l'appareil ;

b) Vaincre la résistance de l'air au déplacement.

a) La puissance dépensée \mathfrak{P}_1 pour la sustentation est égale au produit de la composante horizontale de la résistance de l'air sur les ailes par la vitesse du vent relatif (fig. 85) :

$$\begin{aligned}\mathfrak{P}_1 &= R \sin i \times V = 5KV^2 \sin i \times \sin i \times V, \\ &= 5KV^3 \sin^2 i.\end{aligned}$$

en appliquant la formule de Soreau.

On en déduit, en opérant comme au numéro 84 :

$$\begin{aligned}\mathfrak{P}_1^2 &= \frac{P^3 i}{5KS} \text{ en fonction du poids } P \text{ de l'appareil;} \\ &= \frac{P^3}{QKS} \text{ en fonction de la qualité sustentatrice } Q;\end{aligned}$$

on peut en tirer la puissance par kilogramme d'aéronaute :

$$\frac{\mathfrak{P}_1^2}{P^2} = \frac{1}{S} \times \frac{1}{Q} \times \frac{1}{K}, \quad \text{d'où} \quad \frac{\mathfrak{P}_1}{P} = \sqrt{\frac{1}{S} \times \frac{1}{Q} \times \frac{1}{K}}.$$

On voit que cette puissance est proportionnelle à la racine de la charge par mètre carré de surface portante $\frac{P}{S}$ et inversement proportionnelle à la racine carrée de la qualité Q .

b) La puissance de propulsion est égale au produit de la résistance à l'avancement par la vitesse relative du vent :

$$\mathfrak{P}_2 = rKS'V^2 \times V = rKS'V^3;$$

r est un coefficient de réduction dépendant de la forme de l'appareil, S' est la section transversale maximum, V la vitesse de l'aéronaute.

La puissance de propulsion qu'il semble théoriquement facile de réduire à une valeur inférieure à celle de sustentation lui est au moins égale dans la plupart des appareils actuels.

La puissance totale nécessaire est :

$$\mathfrak{P}_1 + \mathfrak{P}_2 = KV^3(5S \sin^2 i + rS');$$

elle est proportionnelle au cube de la vitesse.

Quand la puissance motrice est convenable, l'aéronaute marche en palier à sa vitesse de régime. Un excès de puissance le fait monter, tandis qu'une réduction de puissance le fait descendre. Dans le cas limite où elle devient nulle (quand on coupe l'allumage), l'appareil décrit d'abord une courbe à cause de sa vitesse acquise, puis glisse en ligne droite suivant une pente variable avec chaque appareil.

Pratiquement, pour permettre à l'aéronaute de s'élever en cas de besoin et pour assurer ses virages qui nécessitent une puissance de sustentation plus forte (la résultante du poids de l'appareil et de la force centrifuge remplaçant le poids du corps), il est nécessaire de majorer la puissance $\mathfrak{P}' = \mathfrak{P}_1 + \mathfrak{P}_2$ trouvée précédemment de 40 %.

Le rendement de l'hélice propulsive atteignant au plus 70 %, il faut encore adopter un moteur plus puissant :

Pour augmenter la vitesse, de 20^m à 25^m par exemple, il faudrait une puissance $\frac{25^3}{20^3} = \frac{5^3}{4^3} = \frac{125}{64}$ fois plus grande, à peu près double.

Et nous ne tenons pas compte de la résistance supplémentaire provenant de l'accroissement proportionnel des dimensions de la voilure et surtout du moteur. Pratiquement il faudrait donc plutôt tripler la puissance du moteur au lieu de la doubler, et cela ne serait peut-être pas suffisant. Il y a donc lieu de s'attacher à réduire le plus possible l'encombrement du moteur.

Considérons deux appareils homothétiques de rapport 2, c'est-à-dire dont les dimensions linéaires de l'un sont doubles de celles de l'autre. Le volume du grand moteur sera 8 fois celui du plus petit, et il en sera de même de la puissance. Nous aurons donc $\mathcal{P}_1 = 8\mathcal{P}$ et $S_1 = 4S$.

Or les puissances des moteurs nécessaires aux deux appareils peuvent s'écrire sous les formes :

$$\mathcal{P} = CV^3S \quad (C \text{ étant un coefficient convenable})$$

et

$$\mathcal{P}_1 = CV_1^3S_1 \quad \text{ou} \quad 8\mathcal{P} = 4CV_1^3S,$$

d'où

$$\frac{V_1^3}{V^3} = 2 \quad \text{et} \quad V_1 = V \sqrt[3]{2}$$

ou

$$V_1 = V \sqrt[9]{8} = V \sqrt[9]{\frac{\mathcal{P}_1}{\mathcal{P}}}.$$

Si la vitesse de l'appareil le plus petit était de 20 mètres, celle du second ne serait que

$$20 \sqrt[3]{2} = 20 \times 1,26 = 25,20.$$

Si l'on désirait obtenir une vitesse double, il faudrait prendre

$$\mathcal{P}_1 = 2^9\mathcal{P} = 512\mathcal{P}.$$

Aussi, dans la construction des aéroplanes, est-il nécessaire de chercher à réduire le plus possible la résistance à l'avancement, dont l'importance est considérable pour les très grandes vitesses.

Sur les appareils actuels, la puissance indiquée par unité de poids d'aéroplane varie de 0,05 à 0,10 HP par kilogramme et la charge par mètre carré de surface portante de 10 à 30%.

XX. — Groupes propulseurs

107. Généralités. — Nous avons vu que, pour réaliser une vitesse propre assez grande assurant la dirigeabilité du navire aérien, il fallait avoir recours à un moteur puissant, peu

encombrant et léger à la fois et à un propulseur à grand rendement ne gaspillant pas la puissance motrice. Le choix du moteur et du propulseur est d'une importance capitale en aéronautique. S'il est difficile de donner des règles élémentaires permettant de discerner le degré d'appropriation d'un moteur et d'un propulseur pour un appareil donné, on peut cependant indiquer les genres de moteurs et de propulseurs qui fournissent les meilleurs résultats en général.

Nous allons donner les caractéristiques des moteurs d'aviation et des hélices aériennes.

108. Moteurs d'aviation. — Conditions qu'ils doivent remplir. — Un bon moteur d'aviation ou d'aérostation doit présenter les qualités suivantes :

1^o *Grande puissance sous un encombrement restreint* : Les moteurs polycylindriques sont tout indiqués : 5, 7, 8, 14 cylindres pour des puissances de 25 à 100 HP.

2^o *Équilibrage parfait*, évitant toute vibration nuisible à la stabilité de l'appareil. On le réalise en disposant convenablement les cylindres : 2 opposés ou 3 en éventail (Farcot), 8 en V (E. N. V., Antoinette), 7.14 en cercles (Gnome) ; en attelant les bielles d'une façon spéciale ; en équilibrant les coudes des vilebrequins (E.N.V.).

3^o *Grande légèreté par cheval de puissance* : On y parvient en construisant toutes les pièces travaillant en acier au nickel, plus résistant à poids égal que l'aluminium, en adoptant des arbres creux, en supprimant les organes non indispensables, en évitant le volant, ce qui nécessite un couple moteur presque constant à chaque instant et, par suite, l'emploi d'un grand nombre de cylindres.

On peut aussi remplacer le refroidissement par une circulation d'eau par le refroidissement par courant d'air.

4^o *Fonctionnement parfait*, assurant la sécurité du pilote. Il faut réduire les chances de pannes au minimum pour permettre un assez long voyage sans être obligé d'atterrir ou pour choisir un lieu propice d'atterrissement. Disons en passant qu'une panne n'est nullement dangereuse, même pour l'avia-

teur : l'aéroplane descend en glissant obliquement sur l'air, qui ralentit sa chute (descente planée). Pour éviter les pannes, il y a lieu d'adopter des moteurs simples de construction, dépourvus d'organes délicats, possédant un allumage par magnéto et accus de secours, pourvus d'un mode de graissage parfait.

On pourrait aussi employer deux moteurs attelés sur l'hélice en marche normale, débrayer celui qui viendrait à s'arrêter et faire alors travailler l'autre à pleine charge. La consommation exagérée des deux moteurs travaillant à demi-charge est un sérieux inconvénient que l'on pourrait atténuer par un mode de régulation approprié.

5° *Consommation réduite d'essence* pour permettre de longs parcours sans nécessiter une trop grande provision de carburant.

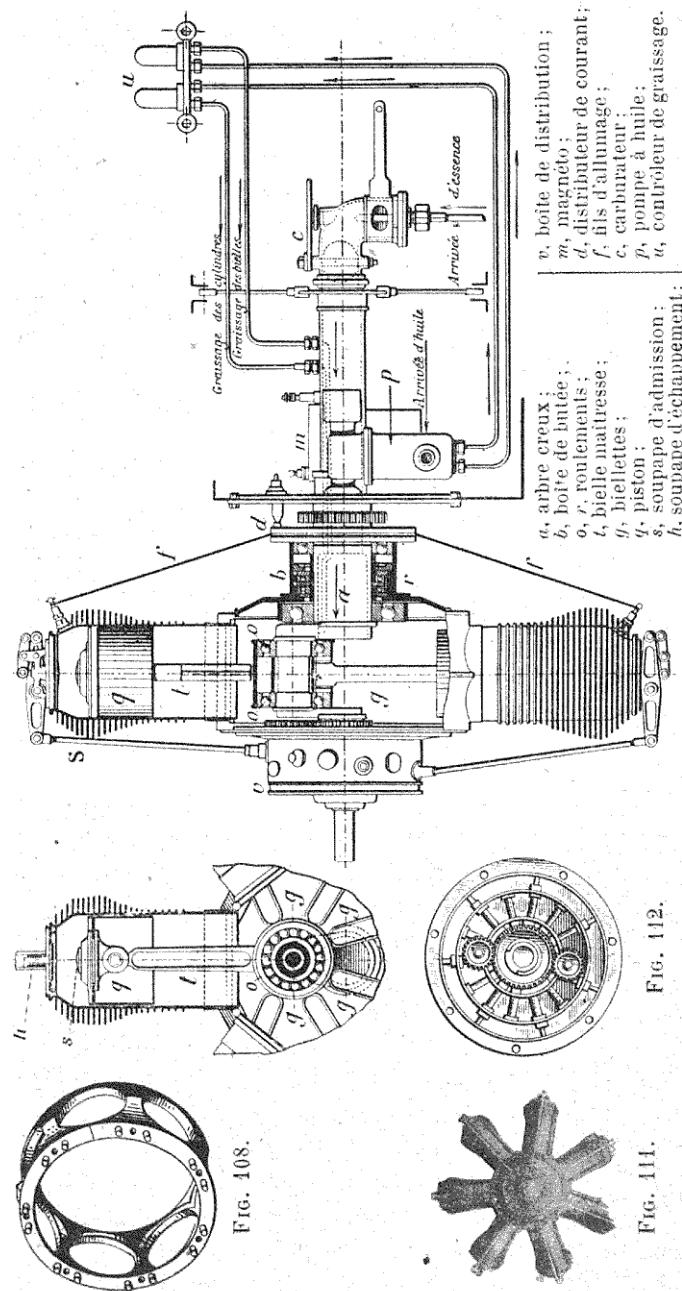
Moteur rotatif Gnome. — Toutes les pièces, la plupart en acier au nickel, sont forgées; aucune n'est en aluminium, qui, quoique léger, est moins résistant que l'acier spécial.

Les sept cylindres à *ailettes* (*fig. 414*) portent au sommet l'orifice d'échappement et la bougie d'allumage (*fig. 409-410*). Ils sont sertis à frottement dur dans les trous cylindriques d'une boîte également cylindrique constituant le carter (*fig. 408*), des segments d'acier et des clavettes parallèles aux génératrices du carter les maintiennent solidement en place. Cet assemblage est encore parfait par l'effet de la force centrifuge.

La rotation des cylindres assure leur refroidissement, par l'énergique courant d'air qu'elle détermine autour des ailettes.

Le carter est fermé par les flasques de butée et de distribution reposant, par l'intermédiaire de roulements à billes, sur l'arbre creux fixe. Cet arbre creux sert de tuyau d'arrivée au mélange tonnant formé dans un simple carburateur à gicleur sans niveau constant, présentant une prise d'air supplémentaire réglable à la main et un papillon d'étranglement du gaz. L'arbre livre passage également aux tuyaux de graissage conduisant l'huile aux billes, aux roulements et aux cylindres.

Les pistons, portant des chapes articulées aux bielles, sont



percés d'un trou central, orifice d'admission obturé par une soupape d'aspiration automatique. Celle-ci est équilibrée par un système de contrepoids pour annuler l'effet de la force centrifuge pendant la marche.

L'une des sept bielles, la bielle maîtresse *t*, s'appuie sur le tourillon des vilebrequins par deux roulements à billes. Sur cette bielle s'articulent les six autres (*fig. 109-110*).

Les soupapes d'échappement sont commandées par double culbuteur portant des masses d'équilibrage destinées à éviter la fatigue des cames sous l'influence de la force centrifuge des soupapes. Un ressort antagoniste ramène la soupape sur son siège. Les tiges actionnant les culbuteurs sont commandées par sept cames à colliers tournant à la demi-vitesse du moteur, grâce aux engrenages démultiplicateurs (*fig. 112*).

Sur les flasques de butée, on fixe l'organe de transmission ou l'hélice.

La magnéto *m*, commandée par des engrenages *e* de raison $\frac{4}{7}$, fournit le courant à un distributeur en ébonite *d* où s'attachent les fils nus *f* des bougies. A la magnéto on peut adjoindre un allumage de secours par accumulateurs.

La pompe à huile *p* à deux cylindres, avec distributeur sans clapet, est placée symétriquement à la magnéto et est commandée aussi par engrenages.

Remarquons que le volant absent est remplacé par les cylindres et le carter, qui, en tournant, régularisent la marche, et que l'équilibrage du moteur est obtenu en disposant les cylindres autour de l'axe de rotation. La netteté des cercles concentriques du moteur tournant montre sa parfaite stabilité pendant le mouvement.

La figure 113 représente son montage en porte-à-faux à

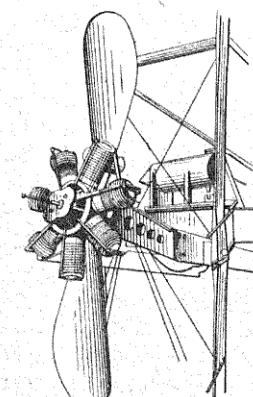


FIG. 113.

l'avant d'un aéroplane. L'arbre repose sur une tôle à l'avant et passe en arrière dans un collier raidie par des tendeurs.

Le nombre de tours du moteur peut varier de 200 à 1.300, la dépense d'huile est d'environ 2^l à l'heure et celle d'essence de 300 à 350^g par cheval-heure.

Le moteur complet pèse 75^{kg} et développe 50 HP, soit 1^{kg},5 par cheval.

109. Autres moteurs légers. — Citons d'abord les aéromoteurs J.-A. Farcot, qui en a établi deux types et réalise le refroidissement au moyen d'une hélice fixée dans le prolongement de l'arbre-vilebrequin formant volant ventilateur. L'aéromoteur à deux cylindres opposés (*fig. 414*) à effort d'inertie compensé est à soupapes concentriques indépendantes l'une de l'autre et commandées sans culbuteur : disposition évitant l'échauffement des cylindres par suite de la suppression de l'effet de chalumeau produit par l'échappement des gaz sous la tige de la souape. Son poids en ordre complet de marche est de 50^{kg} pour 30 HP.

Il permet d'établir un aéroplane pour 5.000 francs.

Il existe d'autres types de moteurs légers présentant les mêmes éléments que le moteur d'automobile, mais dont la construction et le choix de métaux ont été plus parfaits, tels les moteurs E. N. V. Renault, REP, Clément-Bayard, Gobron, Panhard, Anzani, Clerget à circulation d'eau.

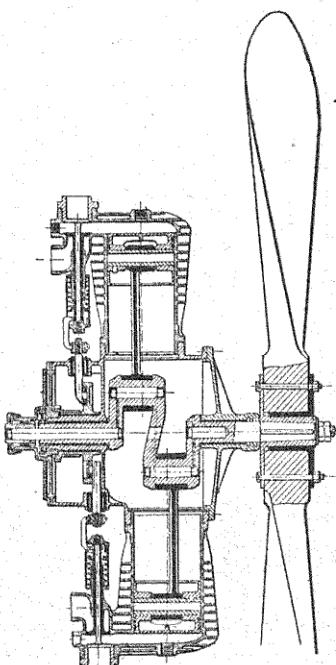


FIG. 414.

Notons aussi les moteurs légers « Antoinette » à huit cylindres en V, qui ont donné d'excellents résultats sur les aéroplanes et les canots. Le carburateur est supprimé, l'essence est injectée directement dans la chambre d'explosion; le radiateur extra-léger est constitué par des tubes horizontaux placés sur la carène pour condenser la vapeur d'eau.

110. Hélices aériennes. — Mode de travail. — L'hélice est l'organe propulseur actuellement employé pour les dirigeables et les aéroplanes.

Considérons une hélice géométriquement pure dont tous les points de sa surface décrivent des hélices de même pas autour de l'axe sur des cylindres dont le rayon est égal à leur distance à l'axe. L'hélice est une sorte de vis à pas très grand ne présentant qu'une portion de filet de mince épaisseur. Comme la vis prend appui dans un écrou fixe pour se déplacer en tournant, l'hélice tend à progresser dans l'air qu'elle frappe de ses branches.

Voici comment elle agit sur l'air environnant.

« Si, auprès d'une hélice en mouvement, on présente, suspendus, des corps légers et mobiles susceptibles d'indiquer, par la position qu'ils prennent, la direction des filets d'air dans lesquels ils sont plongés, on constate aussitôt que, même dans le plan de rotation de l'hélice, l'air est attiré au lieu d'être rejeté au dehors à la façon d'un ventilateur, comme beaucoup de personnes le croient encore ; l'hélice aspire non seulement au-devant d'elle, mais aussi latéralement et même encore un peu au delà de son plan de rotation ; ensuite, un peu en arrière et en dehors, on rencontre une zone de calme, puis enfin un fort refoulement dès qu'on pénètre dans le cylindre dont le grand cercle forme la base ; un peu plus loin encore, en arrière, ce cylindre s'élargit et cela d'autant plus qu'on s'éloigne de cette base. » (TATIN.)

On voit que les filets ne sont nullement dispersés, ils ne se choquent pas et ne sont pas rejetés violemment contre l'air environnant. Il s'ensuit que l'hélice bien faite utilise convenablement la puissance motrice fournie par le moteur. Son rendement propre peut donc être élevé.

Essai d'une hélice au point fixe. — Actionnons une hélice au moyen d'un moteur de $\frac{1}{2}$ HP : l'hélice ne pouvant progresser, elle exerce une traction évaluée au dynamomètre à $T^{\frac{1}{2}}$. Appelons p le pas de l'hélice, quantité dont elle avancerait dans un écrou solide, n le nombre de tours à la minute. Le travail dépensé par le moteur pour un tour est :

Comme l'hélice n'a pas avancé, elle a refoulé son point d'appui constitué par l'air d'une longueur p ; le travail effectué par elle est alors :

$$T \times p \text{ kgm.}$$

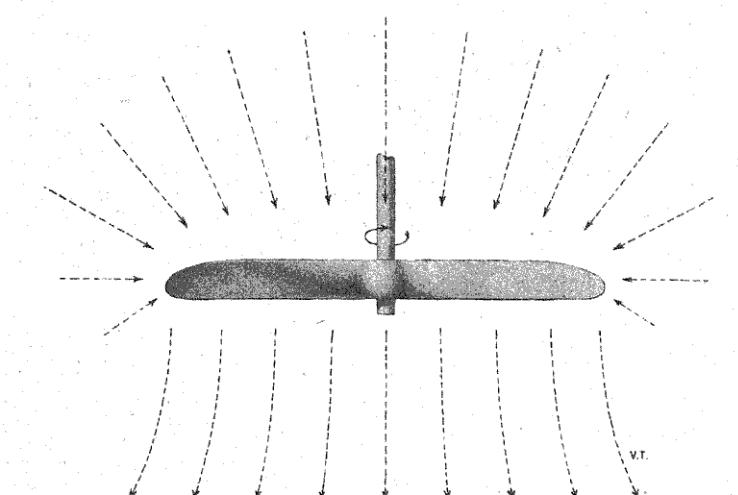


FIG. 115. — Dans la partie supérieure de la figure, la longueur des lignes indique approximativement l'intensité de l'aspiration.

Le rendement absolu de l'hélice est égal au quotient de ces deux travaux :

$$\frac{T \times p}{60 \times 75 \times \varrho} = \frac{T \times p \times n}{\varrho \times 75 \times 60};$$

il est couramment compris entre 0,85 et 0,93.

Ce rendement est encore appelé **rendement de construction ou de ventilateur**.

La perte d'énergie est due :

1^o A la résistance opposée par l'air à la branche dont l'épaisseur n'est pas négligeable, résistance proportionnelle au carré de la vitesse exigeant un travail proportionnel au cube de celle-ci. On peut atténuer cette perte en réduisant le plus possible l'épaisseur et en donnant aux bords une forme tranchante ;

2^o Au frottement de l'air sur les pales qu'il est nécessaire de polir.

Recul des hélices propulsives. — L'hélice expérimentée sur un navire aérien qu'elle entraîne ne donne plus les mêmes résultats.

D'abord elle ne communiquera pas, à l'appareil sur lequel elle est montée, une avance égale à son pas pour un tour. On nomme **recul** de l'hélice le rapport de la différence du pas et de l'avance par tour au pas ; ainsi on dit que le recul d'une hélice est de 0,2, par exemple, lorsqu'une révolution de l'hélice ne fait avancer le navire que de $\frac{8}{40}$ du pas.

L'importance du recul dépend de l'appropriation de l'hélice à l'appareil, d'après sa vitesse et sa forme. En général, les hélices à grand diamètre ont un recul moindre que les hélices à petit diamètre. Le recul diminue le rendement d'**appropriation**, le travail utile effectué par l'hélice étant moindre que celui précédemment trouvé au point fixe. Le rendement des hélices à grand diamètre est donc meilleur que celui des hélices à petit diamètre.

Cela ne veut pas dire cependant que les premières sont préférables aux secondes. Ayant un poids élevé, les hélices à grand diamètre, 5 à 6^m, ne peuvent tourner que lentement, 300 à 400 tours au plus ; elles exigent des organes démultiplicateurs de la grande vitesse du moteur, ce qui alourdit l'appareil. Les petites hélices de 2 à 3^m de diamètre peuvent tourner très vite à la vitesse du moteur : 1.200 à 2.000 tours à la minute. Ces dernières conviennent pour les aéroplanes, dont la vitesse de translation doit être très grande et la poussée peut être relativement faible, la résistance à l'avancement n'étant pas considérable. On les rencontre à l'avant de la majorité des aéroplanes français, calées sur l'arbre du moteur, auquel elles servent de volants, montées sur l'arbre à cames (Bréguet) et tournant à 900 tours au lieu de 1.800, disposées par paire derrière le moteur des biplans Wright et marchant en sens inverse à la vitesse réduite de 450 tours.

Sur les dirigeables, on utilise les unes ou les autres, celles de grand diamètre, de préférence ; elles sont au nombre de une, deux ou quatre placées à l'avant, à l'arrière ou sur les côtés, une ou deux par moteur.

111. Construction des hélices. — Elles se font en acier au nickel ou

trifuge très intense $m\omega^2 R$, vu la grande densité du métal et la rapidité de la rotation, projette violemment les éclats qui peuvent occasionner de graves accidents, tels que la perte du *République*. On leur préfère actuellement les hélices en bois : frêne, noyer, acajou, prises d'une seule pièce dans la masse ou mieux formées par de minces lamelles superposées et collées. Ces planchettes disposées suivant deux éventails opposés réunis par le centre sont ensuite calibrées d'après les gabarits de l'épure, puis chevillées. L'équilibrage des pales de l'hélice se vérifie sur une balance ; puis après rectification, on les ponce et on les vernit. Ces hélices réunissent les avantages suivants :

1^o **Solidité** : elles résistent mieux à poids égal que les meilleurs aciers à la force centrifuge, aux vibrations et réactions diverses entraînant des éclatements ;

2^o **Elasticité** : elles sont moins déformables aux chocs que les autres et en tous cas plus facilement réparables ;

3^o **Légèreté** : elles sont deux fois plus légères que les hélices métalliques de même dimension et donnent avec sécurité des poussées de 50 à 200 kg suivant le pas adopté et la vitesse ;

4^o **Bon marché** : elles coûtent moins cher que les hélices mécaniques et elles permettent de légères modifications soit dans le diamètre, la forme ou la largeur des pales pour obtenir une variation de vitesse ou de poussée. L'essai préliminaire sur l'appareil permet d'améliorer le rendement d'appropriation.

L'hélice *integrale* et l'hélice AP sont des hélices en bois construites comme il a été dit précédemment et qui ont donné d'excellents résultats sur les dirigeables et les aéroplanes.

112. Hélice à pas variable. — Le rendement d'une hélice varie avec la vitesse de translation de l'appareil sur lequel elle est montée. Une hélice calculée pour une vitesse de 50 km à l'heure n'est plus convenable pour une vitesse de 80 km. Les moteurs permettent aux aéroplanes d'obtenir des variations de vitesse de plus de 50 % ou de charge utile de 100 %. On peut obtenir ce résultat par l'emploi d'une hélice à pas variable. Celle-ci, en augmentant de 30 % la poussée au démarrage, réduit la période d'essor.

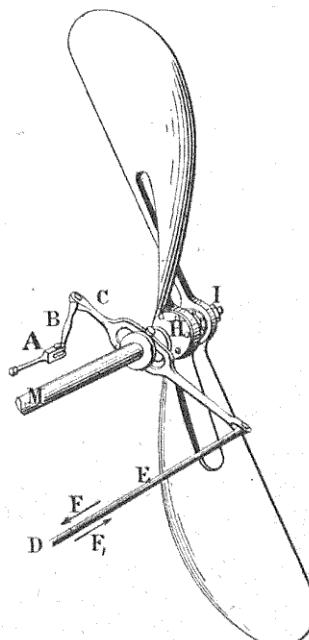


FIG. 416.

prochement ou l'écartement des joues H et I. Le pilote agit sur la tige D guidée par le coussinet E ; cette barre commande le levier C relié par la bielle B à l'attache A montée en un point de l'aéroplane à proximité de l'hélice.

La fourchette C actionne le long de l'arbre M le manchon G, qui entraîne le bras avant de l'hélice par la joue II. Le bras d'arrière est fixe, solidaire de M par la joue I et son boulon de blocage. Un secteur gradué sur lequel se déplace le levier de commande repère les diverses valeurs du pas.

113. Hélices sustentatrices. — Comme elles ne progressent pas, leur recul est de 1. Pour obtenir la plus grande poussée possible avec une certaine puissance fournie par le moteur, il faut diminuer la vitesse de reflux de l'air et, par suite, le pas de l'hélice et sa vitesse de rotation. D'autre part, puisque le travail est perdu au recul, il faut réduire celui-ci en augmentant la résistance de l'air à l'avancement et, pour cela, augmenter le diamètre; l'hélice s'appuiera sur une couche d'air plus étendue. Seulement, ces grandes dimensions augmentent considérablement le poids de l'appareil, la résistance de l'air à la rotation de l'hélice absorbe trop de force motrice et les frottements de l'air sur ces surfaces sont considérables, ce qui diminue beaucoup le rendement de construction. C'est pourquoi le degré de perfection de la construction de l'hélice permettra seul de juger du diamètre et du pas que l'on doit employer.

XXI. — Dirigeables et aéroplanes

114. Historique. — Le premier projet complet d'aérostat dirigeable fut établi par le général Meusnier en 1784 ; mais il ne fut jamais réalisé, quoique comprenant les éléments essentiels d'un dirigeable.

Giffard, en 1852, en construisit un dans la nacelle duquel il disposa une machine à vapeur qui ne put fournir une vitesse propre suffisante. Dupuy de Lôme en 1872 et les frères Tissandier en 1883 firent de vaines tentatives. En 1884, le capitaine Renard put, avec son ballon *la France*, parcourir plusieurs kilomètres contre le vent et revenir au point de départ. Son moteur électrique pesait 4^{1/2} par cheval. L'allégement des moteurs était la condition nécessaire de tout progrès nouveau. Les moteurs à essence d'automobile, puis les moteurs légers permirent de réaliser les dirigeables actuels, français, allemands et étrangers.

Les essais d'aviation sont plus récents que les précédents. En 1877, Alphonse Penaud fabriquait des aéroplanes légers à moteur en caoutchouc, jouets d'aujourd'hui ; Maxim, Ader construisirent des appareils non montés mis par des moteurs à vapeur ; Lilienthal, Ferber, Chanute volèrent sur des planeurs frappés par un courant d'air oblique. En 1906, Santos-Dumont effectua un premier vol de 200^m sur un biplan muni d'un moteur à essence, puis, l'année suivante, Farman et Delagrange, sur biplan Voisin, puis Blériot, sur monoplan, volèrent à leur tour. En Amérique, les frères Wright, sur leur biplan, réussissaient de jolis vols. Après la randonnée de

Farman, de Châlons à Reims (30 octobre 1908), la traversée de la Manche par Blériot, le meeting de Reims mit en évidence les progrès considérables réalisés en aviation en quelques années.

115. Dirigeables. — Pour le gonflement, on emploie exclusivement l'**hydrogène**, qui, à cause de sa grande légèreté (densité 0,070) par rapport au gaz d'éclairage (0,60), permet de réduire le volume du ballon pour obtenir la même force ascensionnelle. La résistance à l'avancement du navire étant aussi faible que possible, on peut atteindre la plus grande vitesse propre réalisant une plus grande dirigeabilité.

Cela dit, on peut classer les dirigeables actuels en trois catégories :

Le type **souple**, comme le *Ville-de-Paris*, le *Colonel-Renard*, le *Clément-Bayard* ;

Le type **rigide**, comme le *Zeppelin* allemand ou le *Spiess* français ;

Le type **semi-rigide**, comme les *Lebaudy*, *Patrie*, *République*.

Nous décrirons avec quelques détails les deux premiers types.

116. Type souple. — La figure 117 représente l'élévation latérale du *Ville-de-Paris*. La carène A est formée d'un tissu caoutchouté spécial; elle est fuselée (allongement 5,75), porte une queue B à empennage souple composé de quatre ballonnets, deux stabilisateurs C, C' horizontaux, deux d'enquillage B, B' verticaux. Pour diminuer la résistance à l'avancement, les ballonnets sont coniques, fixés sur le ballon suivant une génératrice et communiquent avec l'intérieur de la carène par des trous.

Le ballonnet à air intérieur permettant de maintenir le ballon plein est formé d'une doublure comprenant la partie inférieure de la carène jusqu'à la ralingue D' de suspension. Il est partagé par une cloison étanche en deux parties gonflées par deux manches communiquant avec le manche relié au ventilateur M, qui envoie l'air à volonté dans l'un ou l'autre des compartiments. Les manches forment naturellement clapet de retenue.

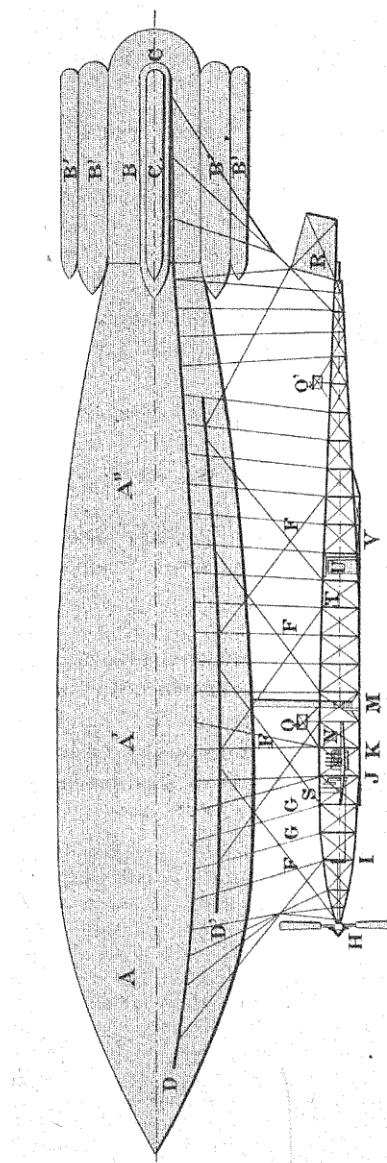


Fig. 117. — Croquis d'assemblage du dirigeable *Ville-de-Paris*, vu de profil. (Extrait de *L'Aérophile*.)

Deux soupapes automatiques à gaz se trouvent en dessous et à l'arrière du ballon, deux autres automatiques à air en dessous du ballonnet. Ces soupapes peuvent se commander à la main.

La nacelle est une poutre armée fusiforme en tubes d'acier réunis par des raccords portant les bossages nécessaires à la fixation de tous les filets tendeurs. Elle est garnie d'étoffe caoutchoutée et de tôle d'aluminium vers le moteur, les cabines du pilote et des voyageurs.

Les gouvernails de profondeur d'avant et d'arrière *Q* et *Q'* sont formés par deux plans parallèles superposés en acier.

Le gouvernail *R* est constitué par deux plans parallèles entoilés. Les gouvernails sont équilibrés et commandés par des câbles d'acier actionnés par des organes irréversibles.

La ralingue *D* de suspension porte des bâton-

nets de buis amarrant les pattes d'oeie où se fixent les suspentes en acier G de la nacelle. Les pattes d'oeie du réseau triangulaire F sont amarrées à la seconde ralingue D'.

Le moteur K à essence de 80 HP actionne, par l'intermédiaire d'un engrenage démultiplicateur I, une hélice H en noyer de 6^m de diamètre à pas de 8^m à droite, faisant environ 180 tours à la minute.

La partie travaillante des deux pales est en acajou verni et le dos tendu de toile caoutchoutée.

L'hélice, pesant 90^{kg}, est placée à l'avant; elle est articulée, à inclinaison centrifuge variable automatiquement.

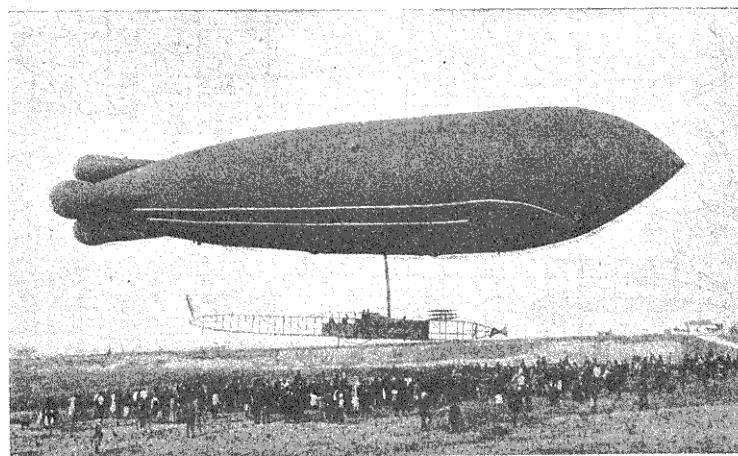


FIG. 418. — Le *Clément-Bayard*.

La figure 418 représente le *Clément-Bayard*, du genre du précédent.

Au même type appartiennent les ballons de sport démontables construits par la Société française *Zodiac*.

Ces petits ballons, cubant 700^{m³} environ, se gonflent au gaz d'éclairage, six fois moins cher que l'hydrogène; ils permettent

un voyage de plus de trois heures et peuvent enlever un ou deux voyageurs.

117. Type rigide français Spiess (fig. 119-120). — La carcasse rigide est en bois creux étoile de résistance supérieure au bambou. Les raccords reliant les différentes pièces de la carène et de la nacelle sont en aluminium. La rigidité et la solidarité du système sont complétées par un réseau de tendeur I en fils d'acier se réunissant au centre des raccords en aluminium pour que le réglage en soit facile de l'extérieur. Des tambours, constitués par un rayonnage de fils d'acier partant d'un moyeu central, servent d'entretoises à la carcasse et la divisent en douze compartiments.

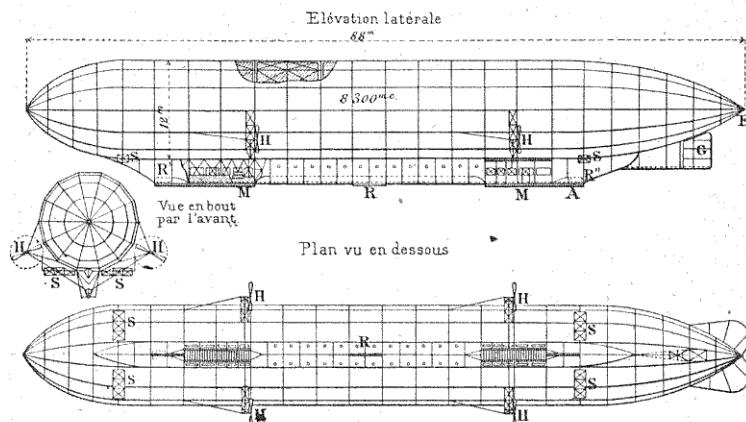


FIG. 119-120 (1).

La carène a la forme d'un solide de révolution, cylindrique dans sa partie centrale et terminée par deux cônes inégaux. Le cône arrière (20°) est sensiblement plus effilé que le cône avant (12°) pour diminuer les remous d'aspiration. La carcasse est recouverte de toile; les douze ballons intérieurs situés dans les compartiments ont une enveloppe B en coton spécial; ils sont isolés du contact de l'air ambiant par un matelas d'air. Ils n'exigent pas de ballonnet intérieur, puisque la carcasse rigide suffit à assurer la permanence de la forme. La nacelle et la carène forment un tout rigide; les quatre hélices II, H sont placées à hauteur de l'axe de poussée sur le carénage. Les deux moteurs de la nacelle sont reliés à l'arbre

(1) Figure extraite de *l'Aérophile*.

des propulseurs par des cardans et des engrenages. Un moteur de 120 HP placé à chaque extrémité de la nacelle actionne par une transmission en V deux hélices de grand diamètre à régime lent. Chaque groupe comprend un embrayage et une marche arrière.

Le lest, constitué par de l'eau, est contenu dans un réservoir central R; il peut être dirigé, au moyen d'une pompe, vers l'un ou l'autre des réservoirs R', R'' placés aux extrémités pour compléter l'action des gouvernails de profondeur. L'empennage horizontal E est constitué par des toiles tendues sur un cadre rigide et assure la stabilité.

Deux groupes de stabilisateurs ou gouvernails de profondeur triplans S, S sont placés à l'avant et à l'arrière de la carène, à hauteur de la génératrice inférieure. Un gouvernail vertical biplan G, placé sous la poupe, assure la direction.

Des amortisseurs spéciaux A sous la nacelle, à l'emplacement des moteurs et du réservoir central, mettent la carcasse à l'abri des chocs brusques à l'atterrissement.

118. Monoplan Antoinette. — Comme type de monoplan, nous prendrons un « Antoinette » construit par le distingué ingénieur Levavasseur, appareil qui a permis à l'habile Latham d'évoluer avec une aisance et une majesté remarquables au-dessus des plaines de Champagne (août 1909).

La carène fuselée F est à section triangulaire, elle se termine à l'avant par une étrave destinée à fendre l'air, elle s'amincit progressivement à l'arrière.

La sustentation est assurée par deux grandes ailes A, A de forme trapézoïdale, relevées aux extrémités pour former un V très ouvert, attaquant l'air sous un angle de 4°.

Les ailes ont 12^m,80 d'envergure et une surface totale de 50^{m²}; elles sont maintenues en position par des haubans en fil d'acier.

La carène et les ailes sont revêtues d'une toile plusieurs fois vernie et poncée pour prendre un poli parfait favorisant le glissement de l'appareil sur l'air.

L'empennage vertical D de la queue assure la stabilité de route; le gouvernail vertical de direction G est placé à l'arrière de cette quille.

La stabilité longitudinale est obtenue par les empennages horizontaux St de la queue; le gouvernail de profondeur, d'une seule pièce G₂, est situé dans le prolongement des empennages horizontaux.

On voit que l'appareil se comporte comme une flèche plombée à l'avant et empennée à l'arrière. Il est à la fois excellent

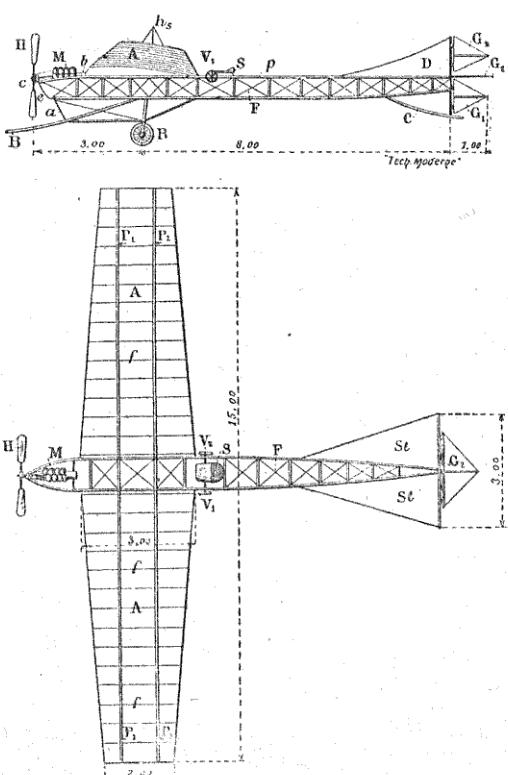


FIG. 121-122. — Monoplan Antoinette. (gauchissement).

A, aile; B, patin de freine flexible; C, support de l'arrière de l'appareil; D, empennage vertical; F, fuselage; G₁, gouvernail de direction en deux parties; G₂, gouvernail de profondeur d'une seule pièce; H, hélice; M, moteur; P₁, P₂, poutrelles parallèles de la membrure des ailes; R, roue du châssis porteur; S, siège de l'aviateur; St, empennage horizontal; V₁, volant de commande du gauchissement des ailes; V₂, volant de commande du gouvernail de profondeur; f, fermes normales aux poutrelles (membrure des ailes); a, morceau de freine prolongeant l'étrave; b, partie dans laquelle le pont supérieur s'abaisse en s'incurvant; e, étrave; h₁, mat auquel sont reliés les haubans supérieurs.

projectile et admirable instrument de lutte contre le vent.

Pour lutter contre les coups de vent ou pour virer, le pilote

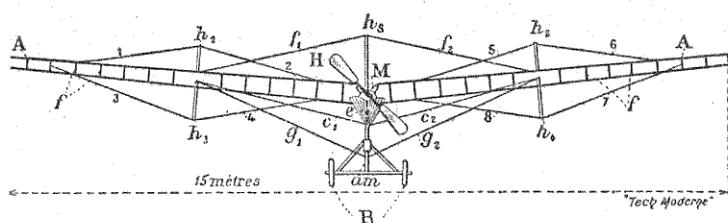
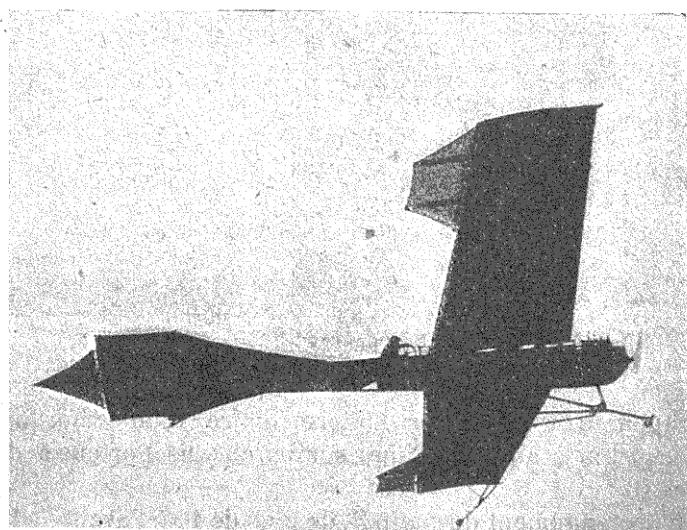


FIG. 123. — Monoplan Antoinette.

ailles; H, hélice; M, moteur; R, roues du châssis porteur; *am*, amortisseur d'atterrissement; C₁, C₂, haubans inférieurs d'avant reliant les ailes à la quille; *e*, étrave; *f*, fermes normales aux poutrelles; f₁, f₂, haubans supérieurs reliant les ailes au mât *h_s*; g₁, g₂, haubans inférieurs d'arrière reliant les ailes au châssis amortisseur; h₁, h₂, h₃, h₄, poinçons en bois placé au milieu de la longueur des ailes; 1, 2, 3, 4, haubans placés en arbalétriers au-dessus et au-dessous de l'aile de tribord; 5, 6, 7, 8, haubans placés en arbalétriers au-dessus et au-dessous de l'aile bâbord.



actionne les ailerons articulés à l'extrémité et à l'arrière des ailes (*fig. 424*), situés dans le plan de celles-ci au repos. Ces ailerons sont reliés entre eux par une commande qui relève l'un quand l'autre s'abaisse pour que les effets s'ajoutent. Ils sont remplacés souvent par les ailes gauchissables.

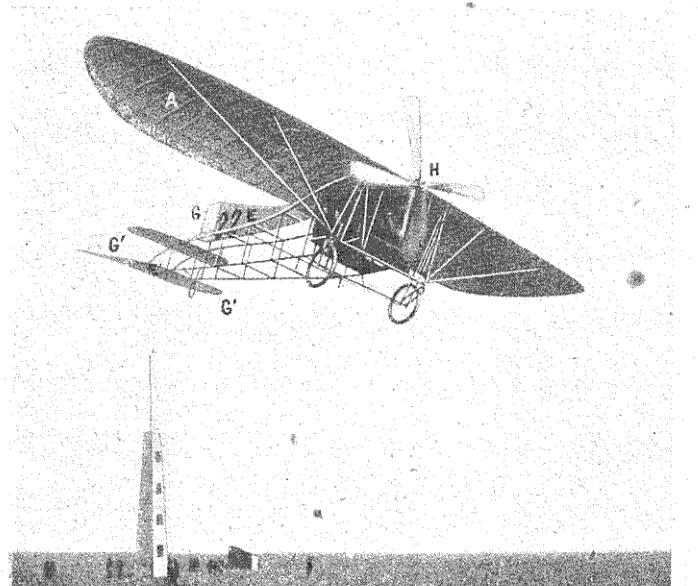


FIG. 423.

L'appareil repose, par l'intermédiaire d'un amortisseur *am* à piston à air comprimé, sur un châssis porteur à deux roues R.

Le prolongement du patin B, de plus de 4^m à l'avant de l'appareil, protège l'hélice à l'atterrissement; les béquilles pré-servent les ailes, et la crosse placée sous la queue protège celle-ci.

Le groupe moto-propulseur est constitué par un moteur «Antoinette» de 55^{ch} à huit cylindres en V et une hélice à deux pales montée directement sur l'arbre moteur. Son pas

est de 4^m,30; elle tourne à 1.100 tours, régime normal; son

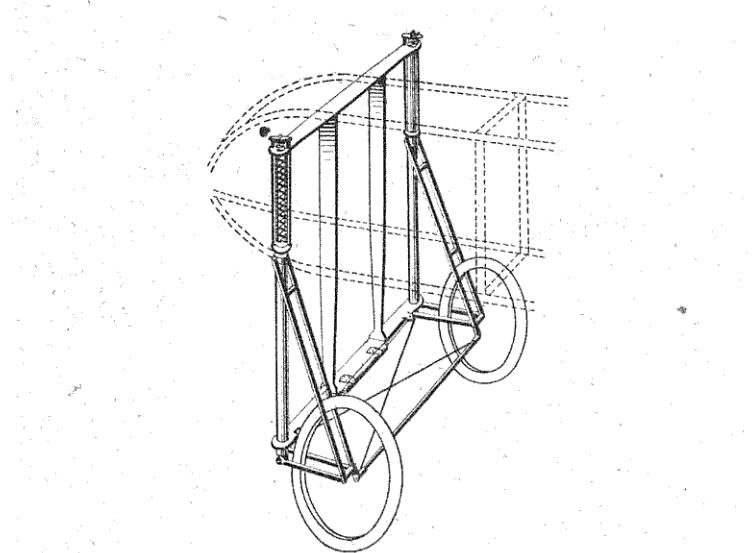


FIG. 126. — Châssis Blériot.

diamètre, 2^m,20; le pas est variable en changeant l'orientation des ailes. L'appareil pèse 520^{kg}.

119. Quelques types de monoplans. — A titre documentaire, nous donnons les caractéristiques des principaux monoplans ayant donné de bons résultats.

Les *Blériot* (fig. 125), comprenant plusieurs types, sont plus petits, plus légers et plus rapides que les précédents. Les ailes gauchissables arrondies à leurs extrémités ont faible surface (14^{m²}, envergure de 8^m,60 pour un appareil pesant 200^{kg} à vide et pouvant transporter 120^{kg} de poids utile).

La quille E est supprimée sur les nouveaux modèles.

Le gouvernail de profondeur à l'arrière est constitué par deux ailerons G',G' disposés de part et d'autre de l'empennage fixe horizontal E' de la queue.

Le fuselage non entoilé est formé par une poutre armée rectangulaire portant le gouvernail de direction G très réduit à l'arrière, reposant à l'avant sur un châssis porteur amortisseur Blériot à deux roues (fig. 126) et sur une roue à l'arrière.

On voit que toutes les masses sont concentrées à l'avant, ce qui est favorable à la vitesse et à la solidité de l'appareil, mais, par contre, est moins bon pour la stabilité longitudinale.

Le *Hanriot* tient de l'*Antoinette* par sa carène en forme de bateau, sa queue empennée qui n'en diffère que par la forme des gouvernails : gouvernail vertical formé par un seul plan trapézoïdal, gouvernail de profondeur constitué par deux ailerons trapézoïdaux encadrant le précédent. Les ailes arrondies gauchissables rappellent le *Blériot*.

Le *Tellier* se rapproche plus du *Blériot*, même fuselage, mais les ailes ont la forme d'un trapèze rectangle.

Le *Nieuport* est à ailes rectangulaires, à carène, à queue biplan et à stabilisation automatique.

Le *Pischof-Kochlin*, très léger (200^{kg}), actionné par un moteur de 20 HP Dutheil-Chalmers, présente une queue rectangulaire très développée (3^m d'envergure). L'*Albatros* est muni d'un gouvernail de profondeur à l'avant.

Dans la *Demoiselle Santos-Dumont* et le *Saulnier*, l'aviateur est placé au-dessous des ailes, tandis que le moteur est monté à l'avant au-dessus du fuselage non entoilé. La surface portante (12^{m²}) et le poids total en ordre de marche (145^{kg}) de la *Demoiselle* sont très réduits. Elle présente encore une queue à empennage cruciforme orientable en tous sens à l'extrémité de la pointe du fuselage triangulaire. Dans le *Saulnier*, le gauchissement est remplacé par une variation totale d'incidence des ailes.

120. Biplan Farman. — Cet appareil, dérivé du biplan cellulaire Voisin, a permis à son constructeur de conquérir le record du monde de distance et de durée (190^{km} en 3^h 4^m 56^s). Voici ses caractéristiques :

Le corps est constitué par un fuselage de pièces de bois de 42^m de longueur.

Les deux plans porteurs A, A, égaux, de 10^m × 2^m, sont superposés à une distance de 2^m; ils portent en arrière et à l'extérieur chacun deux grands ailerons *aa* jouant le même rôle que ceux du monoplan précédent pour la stabilité transversale. La queue cellulaire Q, formée de deux plans horizontaux E de 2^m × 2^m, réalise automatiquement la stabilité longitudinale.

Le gouvernail de profondeur monoplan G' est placé loin en avant pour augmenter son efficacité, il est commandé par un levier et règle l'angle d'attaque des plans porteurs.

Le gouvernail de direction G, est constitué par deux plans verticaux placés entre les plans horizontaux de la queue cellulaire.

L'appareil est supporté à l'avant par un système mixte de deux patins P à amortisseurs à ressorts et de quatre roues

caoutchoutées, et à l'arrière par deux roues porteuses sous la cellule stabilisatrice.

L'hélice intégrale Chauvière H, de pas 4^m,45, est montée sur le moteur rotatif Gnome à sept cylindres de 50^{ch}. L'aviateur

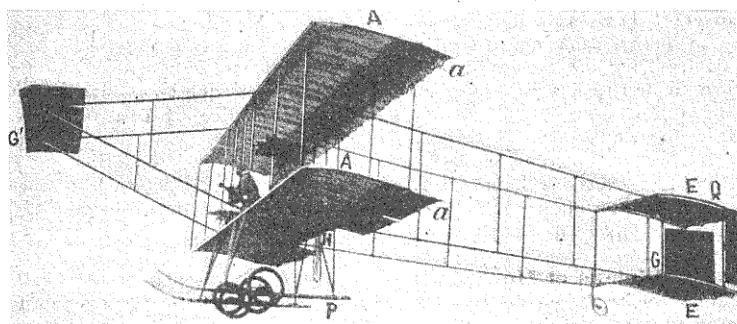


FIG. 127.

se place devant le moteur. L'hélice tourne en arrière du plan porteur inférieur, dans une échancrure ménagée à cet effet. L'appareil pèse 550^{kg} en ordre de marche.

Tout récemment, Henri Farman vient de voler une heure avec trois passagers sur un nouvel appareil différent de celui que nous venons de décrire par un plan porteur supérieur plus étendu, tandis que l'inférieur est réduit, et par une réduction de la cellule.

121. Quelques types de biplans 1910. — Le *Sommer* diffère peu du *Farman*, la queue est cruciforme et repose sur un patin en bois cintré, la direction est assurée par le gauchissement du plan vertical de cette queue, les patins d'atterrissement sont recourbés à l'avant et reçoivent le gouvernail d'avant monoplan.

Le *Voisin* primitif cellulaire était caractérisé par de nombreuses surfaces verticales (20^{mo}) pour l'équilibre transversal. Elles disparaissent dans le nouveau modèle, la queue est en forme de té. L'appareil repose sur 4 roues, une sous la queue, une sous le gouvernail d'avant, deux au châssis porteur.

Le *Maurice Farman* est constitué par deux cellules dont les surfaces

Le *Wright* a ses deux plans porteurs rectangulaires arrondis aux extrémités postérieures gauchissables. Il présente deux surfaces verticale demi-circulaires au milieu du stabilisateur biplan avant, et un gouvernail de direction biplan à l'arrière. Le capitaine Etevé installe à l'arrière son stabilisateur à girouette. Dans le type français, les patins sont montés sur trois roues porteuses qui dispensent du pylône de lancement. Comme nous l'avons déjà dit, le moteur actionne deux hélices tournant en sens inverse à la vitesse réduite de 450 tours.

Le *Goupy*, à fuselage Blériot non entoilé, porte des ailerons de part et d'autre des plans sustentateurs. Les plans inférieurs sont rejetés quelque peu en arrière des plans supérieurs, de telle sorte que les montants le reliant font un angle de 30° avec la verticale. L'hélice est à l'avant, contrairement aux autres biplans.

Le *Breguet* à carène présente quatre plans vitaux de dérive pour l'équilibre transversal, une queue cruciforme, des ailes gauchissables, une hélice en aluminium à trois pales tournant à la demi-vitesse du moteur disposé à l'avant de l'appareil.

122. Biplans et Monoplans. — Nous ne croyons pas devoir nous prononcer en faveur du monoplan ou du biplan, nous serions d'abord embarrassés, car d'habiles pilotes ont accompli des performances remarquables avec les deux genres d'appareils.

A l'actif des monoplans, nous avons à enregistrer les exploits de Blériot (*Libellule*, fig. 425), entre autres sa traversée de la Manche ; les prouesses de Latham volant au-dessus de Berlin et atteignant le premier la hauteur de 1.100^m au camp de Châlons ; le raid de Santos-Dumont filant, à 90^{km} l'heure sur sa *Demoiselle*, de Saint-Cyr à Buc.

Les biplans, avec lesquels Santos-Dumont, Delagrange et Farman et le Wright effectuèrent les premiers vols, détenaient primitivement les grands records :

- Record de vitesse (90^{km}), avec Curtiss (Américain) (1910) ;
- Record de distance et de durée, avec Farman (Reims, 1909) ;
- Record des passagers, avec Farman (Châlons, 1910) ;
- Record de hauteur (1.300^m), avec Paulhan sur biplan Farman (Los Angeles, 1910) ;
- Voyage de Londres à Manchester (298^{km} en 4^h 12^m), par Paulhan sur biplan Farman (28 avril 1910) ;
- Double traversée la Manche : Douvres-Calais-Douvres, en 4^h 1/2, par l'aviateur anglais Rolls sur biplan Wright (2 juin 1910).

Les monoplans ont pris leur revanche et ont fait tomber les précédents records à la deuxième grande semaine de la Champagne (juillet 1910) :

- Record de hauteur (4.384^m), Latham sur *Antoinette* ;
- Record de vitesse (106^{km} à l'heure), Morane sur *Blériot* ;
- Record de distance et de durée :
- (340^{km} en 4^h 34^m), Labouchère sur *Antoinette* ;
- (390^{km} en 5^h 4^m), Olieslagers sur *Blériot*.

Plus récemment, Chavez, Drexel et Morane, tous trois sur *Blériot*, s'élèvent respectivement à 1.648^m, 2.013^m, 2.040^m ; tandis qu'à New-York Brookins sur biplan *Wright* monte jusqu'à 1.882^m.

Radley pilotant un *Blériot* s'adjuge le record du monde de vitesse av 120^{km} à l'heure.

Leblanc et Aubrun, montant des *Blériot* également, bouclent le cercle de l'Est (790^{km} en 6 étapes), le premier en 12^h, le second en 13^h 1/2 (août 191

EXERCICES A RÉSOUDRE

1. — Une carène fusiforme, d'allongement 3, à 11^m de diamètre au maître couple. Elle s'avance avec une vitesse propre de 14^m contre un vent de bout de 3^m à la seconde. On demande :

- 1^o Quelle est la résistance à l'avancement;
- 2^o Quelle est la puissance utile nécessaire pour vaincre cette résistance.

2. — Le monoplan Antoinette à ailes gauchissables (*fig. 421 à 424*) attaque l'air sous un angle de 4°. La surface portante est de 50^{m²}. Evaluer en appliquant la formule de Soreau :

- 1^o Le poids que l'appareil peut soulever (poids de l'aéroplane compris);
 - 2^o La trainée horizontale;
 - 3^o La puissance utile nécessaire à la sustentation.
- On effectuera les calculs pour une vitesse de 90^{km} à l'heure.

3. — Les surfaces portantes d'un biplan sont constituées par deux grands plans rectangulaires d'envergure 10^m, 50 et de largeur 2^m et par deux petits carrés horizontaux de queue de 2^m × 2^m. La distance de ces plans superposés est de 2^m pour ne pas gêner l'action de l'air. Quand les ailes attaquent l'air sous un angle de 10°, la queue plus effacée ne présente qu'une incidence de 5°. En admettant une vitesse de 72^{km} à l'heure, calculer :

- 1^o La résistance de l'air respectivement sur les ailes et sur la queue;
- 2^o La poussée totale et la trainée totale;
- 3^o La puissance utile nécessaire à la sustentation.

4. — Admettons que ce biplan se cabre et accroisse de 2° l'angle d'attaque des ailes et celui de la queue. Calculer les nouvelles valeurs de la résistance de l'air sur ces organes et ses variations relatives respectives. Evaluer nouvelle valeur de la trainée.

5. — Le gouvernail de profondeur d'avant d'un biplan Farman a 5^m long sur 1^m, 10 de large. Calculer la poussée de l'air pour des inclinaisons de 2°, 5°, 10°, 15°, 20°, 30°, 45° avec le plan horizontal. Construire graphiquement la courbe figurant ces variations pour une rotation progressive du gouvernail de 45° au-dessus et au-dessous de l'horizon.

6. — Le gouvernail vertical d'un biplan Farman est formé d'un plan vertical axial de 1^m, 40 × 1^m, 30. L'appareil filant à une vitesse de 80^{km} à l'heure, évaluer la pression de l'air sur le gouvernail quand il fait un angle de 90° avec l'axe longitudinal de l'aéroplane.

7. — Le gouvernail arrière d'un monoplan est formé par deux surfaces carrées de 0^m.60 de côté, mobiles autour d'un même axe horizontal situé à 6^m du centre de gravité de l'appareil. Calculer l'effet rotatif produit autour d'un axe horizontal transverse passant par le centre de gravité, quand on abaisse le gouvernail de 30° sur l'horizon en supposant une vitesse de 86^{km}/l'heure.

8. — Un monoplan Hanriot de 10^m d'envergure exécute un virage de 60° de rayon à une allure de 90^{km}/l'heure. On demande :

1^o Les vitesses des extrémités des ailes (le rayon du virage étant donné pour l'axe longitudinal de l'appareil);

2^o La différence de poussée de l'air sur les deux ailes, la surface totale des ailes étant de 24^m²;

3^o L'inclinaison transversale de l'aéroplane pour effectuer un bon virage

9. — Un Blériot fait 90^{km}/l'heure avec un moteur Gnome de 50 chx. On désire construire un appareil semblable devant réaliser une vitesse de 150^{km}/l'heure. Trouver une limite inférieure et une limite supérieure de la puissance du groupe moteur à adopter.

Pour obtenir une limite inférieure, on ne tiendra pas compte de l'augmentation de résistance due à un plus grand encombrement de l'appareil. La limite supérieure se calculera en considérant un aéroplane homothé-

**Origine des documents ayant servi à la composition
et à la rédaction de cet ouvrage :**

a) **Communications** de MM. Aster (Société anonyme); Baverey; Besse; Bonvillain et Ronceray; Bosch; Boudréaux; Brouhot et C^e; Buron; Canaud (J.-L.), ingénieurs; Cail (Société des Anciens Etablissements); Clément (Automobiles Bayard); Charon (Société des Moteurs); L. Chauvière; chemins de fer de l'Est (Compagnie des); Colin, ingénieur E. C. P., directeur des Aciéries d'Outreau; Cockerill (Société anonyme); Darracq; Decauville; De Diétrich; De Dion-Bouton; Delaunay-Belleville; De Naeyer; Deschamps (Jules), ingénieur-conseil; Desrumaux; Dujardin et C^e; Duriez, ingénieur, directeur des Usines de Tramways de Boulogne-sur-Mer; Du Temple (Société des Générateurs); Electro-Mécanique (Compagnie); E.N.V. motors limited; Escher-Wyss et C^e; Farcot; Fonderies et Ateliers de la Courneuve; Gnome (Société des Moteurs); Gasmotoren Fabrik Deutz; Glaenzer, Perreau et Thomine; Green's Economiser; Henry Hamelle; Kœrling (Société française); Leflaive et C^e; Leroux et Gâtinois; Longuemarre; Longwy (Aciéries de); Malicet et Blin; Michelin; Micheville (Aciéries de); Montupet, ingénieur-conseil; Munzing and C^e; Muller et Royer; Nielausse (J. et A.); Niel (Société des Moteurs); Normand; Otto (Société française); Panhard et Levassor (Société des Automobiles); Peugeot; Piat (Les fils de A.); Pierson (J. et O.-G.); Quinart, chef des travaux de tissage à Reims; Piguet et C^e; Rateau (Société des Appareils); Riché (Compagnie du Gaz); Renault frères; Rip (Société des Automobiles); Richard (Jules), appareils de précision; Roser; Royer et Joly; Sabrou (Etablissements); S. C. A. R.; Schneider et C^e; Siegener Maschinenbau Aktiengesellschaft; Singrun frères; Sulzer frères; Teisset, Chapron et Brault; Thirion et fils; Unic (Société des Automobiles); Westinghouse (Compagnie); Weyher et Richemond (Société des Anciens Etablissements); Worthington (Société française).

b) **Notes et croquis** relevés aux cours de nos voyages d'études et visites industrielles.

c) **Publications** : *Aérophile* (l'); *Auto* (l'); *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*; *Bulletin technologique de la Société des Anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers*; *Bulletin de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail*; *Machine moderne* (la); *Omnia*; *Sports* (les); *Téchnique moderne* (la).

d) **Ouvrages** : ARAGON, *Résistance des matériaux*; BOUZY, *Cours de technologie*; HANRA, *Cours de métallurgie*; MARCHIS, *Navire aérien*; NOLET, *De la surchauffe et du surchauffeur*; SCHWÄRER; RENARD (commandant Paul), *L'Aéronautique*; TATIN, *Eléments d'aviation*; WALCKENAER, *Rapport du jury*.

TABLE DES MATIÈRES

MOTEURS INDUSTRIELS A EXPLOSION OU A COMBUSTION INTERNE

	Pages.
I. Notions générales. — Définitions, historique.....	1
II. Combustibles gazeux. — Gaz d'éclairage, gaz à l'air et à l'eau, gaz de bois, gaz de fours à coke, gaz de hauts fourneaux.....	2
III. Fours et gazogènes. — Définitions, gazogène à double combustion Riché; gazogènes par aspiration : Otto, Glaenzer, Munzel, Lencauchez; four à gaz de bois Riché.....	10
<i>Exercices à résoudre.....</i>	28
IV. Combustibles liquides. — Pétroles, alcools; carburateurs : Claudel, Aster.....	30
V. Classification des moteurs à combustion interne. — Cycle du fonctionnement, dispositions diverses des cylindres.....	37
VI. Moteurs à quatre temps. — Fonctionnement du cycle à quatre temps, régulation de la distribution; utilité d'une période de compression; moteur à simple effet : Munzel, Westinghouse; moteur à combustion Rodolphe Diesel; moteur à double effet de la Gas-motoren Fabrik Deutz.....	39
VII. Moteurs à deux temps. — Cycle à deux temps, moteur Körting, moteur Claudel.....	53
VIII. Installation, conduite et entretien. — Installation d'un moteur industriel, réglage des moteurs à explosion, mise en marche, conduite, entretien, consommation, prix de revient de la force motrice.....	60
<i>Exercices à résoudre.....</i>	69
IX. Turbine à gaz ou à essence. — Principe, turbine Lémale et Armentaud, avantages des turbines.....	72

AUTOMOBILE

X. Carburateur. — Rôle, carburateur à pulvérisation; carburateurs automatiques : Krebs, Zénith.....	73
XI. Moteur. — Généralités, moteur de Dion-Bouton, variante des autres moteurs, moteur sans soupapes, moteur duplex Boudréaux-Verdet, puissance d'un moteur.....	78

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
XII. Allumage. — Incandescence, accumulateurs, magnéto et bougies, avance à l'allumage.....	86
XIII. Refroidissement du moteur. — Nécessité du refroidissement, ailettes, circulation d'eau, thermo-siphon, mise en marche du moteur, recherches à faire en cas d'arrêt.....	92
XIV. Transmission du mouvement du moteur aux roues motrices d'une automobile. — Embrayage, changement de vitesse et de marche, transmission flexible, différentiel, essieux, freins.....	99
XV. Organes de l'automobile assurant sa direction, son confort et supportant les mécanismes. — Direction, roues pneumatiques, ressorts, suspension de la voiturette Rip, nature des châssis, emplacement des organes sur un châssis.....	110
XVI. Motocyclette	120

AÉRONAUTIQUE

XVII. Résistance de l'air. — Déplacement d'un plan; surfaces courbes inclinées	123
XVIII. Sustentation. — Deux modes : statique, dynamique ; planeurs, cerfs-volants; sustentation orthoptère, sustentation oblique; moyen d'améliorer la qualité sustentatrice des aéroplanes.....	127
XIX. Direction. — Le vent pour l'aéronaute, vitesse propre et vent propre, mouvement absolu du navire aérien, angle abordable, dirigeabilité partielle, dirigeabilité totale, réalisation de grandes vitesses propres, dirigeabilité pratique, pilotage en altitude, stabilité de route, stabilité longitudinale, stabilité transversale; équilibre des forces agissant sur un dirigeable, sur un aéroplane.....	136
XX. Groupes propulseurs. — Généralités; moteurs d'aviation: Gnome, Farcot; hélices aériennes, construction, hélices à pas variable, hélices sustentatrices.....	154
XXI. Dirigeables et aéroplanes. — Historique, dirigeables, type souple, type rigide: monoplan Antoinette, autres monoplans; biplan Farman, autres biplans.....	164
<i>Exercices à résoudre</i>	177
Origine des documents ayant servi à la composition et à la rédaction du cours élémentaire de mécanique industrielle.....	179

H. DUNOD et E. PINAT, Libraires-Éditeurs
47 et 49, Quai des Grands-Augustins, 47 et 49 — PARIS (6^e)

BIBLIOTHÈQUE
DE
L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM.

Michel LAGRAVE, Inspecteur général honoraire de l'Enseignement technique
et Émile PARIS, Inspecteur général de l'Enseignement technique

Secrétaire général : G. BOURREY, Inspecteur de l'Enseignement technique

SÉRIE A. — Volumes à l'usage des Écoles pratiques de Commerce
et d'Industrie, rédigés d'après le programme du 28 août 1909

Les ouvrages ci-après sont en vente ou à l'impression

COURS D'HISTOIRE CONTEMPORAINE (2 vol.)

PAR

Paul RISSON

Agrégé de l'Université, Professeur
à l'Ecole supérieure pratique
de Commerce et d'Industrie de Paris

G. MOUSSET

Professeur à l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie
de Dijon

Paru : Tome I. La France de 1789 à 1848. In-16 de viii-242 pages,
avec cartes..... 2 50

Sous presse : Tome II. La France et le monde de 1848 à nos jours.
(Section industrielle et commerciale)

ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE (1 vol.)

PAR

J. CHAPPUIS

Professeur à l'Ecole centrale
des Arts et Manufactures

A. JACQUET

Professeur à l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie de Maubeuge

(Section industrielle et commerciale)

Paru. In-16 de viii-254 pages, avec 234 fig..... 3 50

H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs, 47 et 49, Quai des Grands-Augustins, PARIS

COURS DE CHIMIE (1 vol.)

PAR

E. CHARABOT

Docteur ès sciences

Inspecteur de l'Enseignement technique
Professeur à l'Ecole des Hautes Etudes
Commerciales

E. MILHAU

Professeur de l'Ecole pratique de Commerce
et d'Industrie de Béziers

Préface de M. HALLER, membre de l'Institut

(Section commerciale)

(Sous presse)

NOTIONS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE
APPLIQUÉE AU DESSIN (1 vol.)

PAR

F. HARANG

Professeur à l'Ecole pratique d'Industrie
de St-Étienne

H. BEAUFILS

Directeur à l'Ecole pratique d'Industrie
de St-Étienne

(Section industrielle)

Paru. In-16 de vir-172 pages, avec 142 fig 2 50

COURS DE MÉCANIQUE INDUSTRIELLE (3 vol.)

PAR

E. GOUARD

Professeur de l'Ecole pratique d'Industrie
de Boulogne-sur-Mer

G. HIERNAX

Licencié ès sciences mathématiques
Professeur à l'Ecole pratique d'Industrie
de Reims

Préface de M. FARJON, ancien élève de l'Ecole Polytechnique
Inspecteur de l'Enseignement technique

(Section industrielle)

Paru. Tome I. In-16 de viii-320 pages, avec 334 fig 4 »
— II. In-16 de 359 pages, avec 327 fig 4 50
— III. In-16 de 182 pages, avec 127 fig 2 50

COURS D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE (1 vol.)

PAR

P. ROBERJOT

Ancien élève de l'Ecole supérieure d'Electricité
Professeur à l'Ecole pratique d'Industrie de Reims

Préface de M. P. JANET

Professeur à l'Université de Paris, Directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité

(Section industrielle)

(Sous presse)

COURS DE GÉOGRAPHIE COMMERCIALE (1 vol.)

PAR

E. BERTRAND

Professeur à l'Ecole pratique de Commerce et d'Industrie de Bordeaux

Préface de M. MÉTIN

Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers

(Section industrielle et commerciale)

Paru. 3^e année. In-16 de xvi-360 p., av. 42 fig. et 1 pl. hors texte. 4 »

H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs, 47 et 49, Quai des Grands-Augustins, PARIS

COURS D'HYGIÈNE INDUSTRIELLE (1 vol.)

PAR

D^r F. HEIM

Professeur au Conservatoire national
des Arts et Métiers

D^r F. BONNEVILLE

Professeur à l'Ecole pratique de
Commerce et d'Industrie de Mazamet

(Section industrielle)

(Sous presse)

COURS D'ARITHMÉTIQUE

PAR

P. PHILIPPE

Professeur agrégé de l'Université
Examinateur à l'Ecole supérieure
pratique de Commerce et d'Industrie de Paris

F. DAUCHY

Professeur à l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie
de Maubeuge

(Section industrielle)

Paru. In-16 de viii-488 pages, avec fig..... 4 75

ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE

PAR

P. PHILIPPE

Professeur agrégé de l'Université
Examinateur à l'Ecole supérieure
pratique de Commerce et d'Industrie de Paris

F. DAUCHY

Professeur à l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie
de Maubeuge

(Section industrielle)

Paru. In-16 de vi-268 pages, av. fig..... 3 50

COURS DE GÉOMÉTRIE (1 vol.)

PAR

P. PHILIPPE

Professeur agrégé de l'Université
Examinateur à l'Ecole supérieure
pratique de Commerce et d'Industrie de Paris

M. FROUMENTY

Sous-Directeur
de l'Ecole pratique d'Industrie
de Marseille

(Section industrielle et commerciale)

(Sous presse)

**COURS D'ARITHMÉTIQUE
ET DE CALCUL ALGÉBRIQUE (1 vol.)**

PAR

P. PHILIPPE

Professeur agrégé de l'Université
Examinateur à l'Ecole supérieure
pratique de Commerce et d'Industrie de Paris

F. DAUCHY

Professeur à l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie
de Maubeuge

(Section commerciale)

(Sous presse)

PRÉCIS DE LÉGISLATION USUELLE ET COMMERCIALE

(Sous presse)

H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs, 47 et 49, Quai des Grands-Augustins, PARIS

COURS DE LANGUE ANGLAISE USUELLE

1^{er} volume : 1^{re} année — 2^e volume : 2^e année

PAR

L. CHAMBOUNNAUD

Professeur d'Ecole pratique, détaché
à l'Ecole supérieure pratique
de Commerce et d'Industrie de Paris

P. TEXIER

Professeur
à l'Ecole pratique de Commerce
de Limoges

(Section commerciale)

(Sous presse)

COURS D'ANGLAIS COMMERCIAL

3^e volume : 3^e année

PAR

L. CHAMBOUNNAUD

Professeur à l'Ecole pratique, détaché
à l'Ecole supérieure pratique
de Commerce et d'Industrie de Paris

P. TEXIER

Professeur
à l'Ecole pratique de commerce
de Limoges

(Section commerciale)

(Sous presse)

COURS D'ESPAGNOL COMMERCIAL (1 vol.)

PAR

P. LOURTAU

Directeur de l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie de Cette.

LUIS ARIZMENDI

Docteur de l'Université
de Madrid

(Section commerciale)

Paru. In-16 de vir-259 pages, avec figures et planches hors texte.. **3 50**

COURS DE LANGUE ESPAGNOLE (1 vol.)

PAR

P. LOURTAU

Directeur de l'Ecole pratique
de Commerce et d'Industrie de Cette

LUIS ARIZMENDI

Docteur de l'Université
de Madrid

(Section commerciale)

(Sous presse)

Les autres livres de la même série A sont en préparation et paraîtront prochainement :

Morale. — Langue française. — Commerce et Comptabilité industrielle. — Economie industrielle. — Législation ouvrière. — Technologie. — Hygiène générale. — Economie commerciale. — Marchandises. — Calligraphie. — Sténographie et Dactylographie. — Langue allemande.

TOURS, IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

